Ueber die Durchlässigkeit der Tracheïdenwände für atmosphärische Luft.

Von

Peter Claussen.

Mit 9 Textfiguren.

Ueber die Durchlässigkeit der pflanzlichen Membranen für Luft ist schon eine Reihe von Arbeiten veröffentlicht worden, ohne dass die Frage nach der Permeabilität der Tracheïden- und Gefässwände hinreichend geklärt wäre, trotzdem gerade diese für die Theorie des Saftsteigens von fundamentaler Bedeutung ist. Der Grund liegt in den ausserordentlichen experimentellen Schwierigkeiten, die derartigen Untersuchungen entgegenstehen und die ein quantitatives Arbeiten fast unmöglich machen. Daher rühren auch die widersprechenden Angaben selbst in Fragen, von denen man annehmen sollte, sie müssten leicht zu entscheiden sein. Ich habe hier zunächst die Frage nach der Durchlässigkeit der Cuticula, der Blattepidermis und des Korkes im Auge. Eine kurze Besprechung der einschlägigen Arbeiten wird zeigen, wie verschieden die Resultate sind.

Die ersten Versuche dieser Art stammen von Graham[1]). Er fand, dass die Diffusion durch Korklamellen sehr langsam vor sich geht. Seine Versuche sowie die von Garreau[2]) können hier übergangen werden. Die ersten genaueren Untersuchungen rühren von N. J. C. Müller[3]) her. Er prüfte die spaltöffnungsfreie[4]) Epidermis von Haemanthus puniceus auf ihre Durchlässigkeit für verschiedene Gase und fand, dass sie im feuchten Zustande Gase schwerer passiren lasse als im trockenen. In Betreff der Einzelheiten muss auf das Original verwiesen werden. Erwähnt werde nur noch, dass die in höherem Grade absorbirbaren Gase nach ihm eine feuchte Membran schneller durchsetzen als die in geringerer Menge absorbirbaren, so

1) Graham, Phil. Mag. 2. 351 oder Pogg. Ann. 28. 331.

2) Garreau, Annales des sciences naturelles 1849. Sér. III. Bd. XIII, pag. 321—346.

3) Müller, N. J. C., Pringsheim's Jahrbücher für wiss. Bot. 1869—70. Bd. VII, pag. 144—192.

4) Ob die Membran wirklich spaltöffnungs- und rissfrei war, mag hier unentschieden bleiben. Wenn man die Versuchsergebnisse ansieht, könnte man das letztere mit einigem Recht bezweifeln.

Universitätsbibliothek Regensburg

urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0440-6

dass sich, wenn man die Gase nach der Schnelligkeit ihres Durchtritts ordnet, die Reihe CO_2, O, H ergibt, während für trockene Membranen die Aufeinanderfolge gerade umgekehrt ist. Zu dem entgegengesetzten Resultat gelangte A. Barthélemy[1]) bei seinen Untersuchungen über trockene Membranen. Nach ihm ist die Durchgangsfähigkeit von CO_2 am grössten. Er verwendete zu seinen Untersuchungen Blätter von Begonia. Durch feuchte Membranen diffundirt ebenfalls Kohlensäure am schnellsten und zwar schneller als durch trockene.

Einen wesentlichen Fortschritt bedeuten die letzten grösseren Arbeiten, nämlich die von Lietzmann[2]) und von Wiesner und Molisch[3]). Die Resultate Lietzmann's, der eine kritische Besprechung der ersten Arbeit Wiesner's[4]) gibt, sind die, dass sowohl die Cuticula als auch die Parenchymzellmembranen permeabel sind, und zwar sind es die imbibirten in höherem Grade als die trockenen. Damit stimmen in der Hauptsache die Ergebnisse der Arbeit von Wiesner und Molisch überein. Allerdings behaupten diese Autoren im Gegensatz zu Lietzmann, die unverholzte und unverkorkte trockene Zellhaut lasse Gase nicht in nachweislicher Menge diffundiren, während Lietzmann nur eine starke Herabsetzung der Durchlässigkeit constatiren konnte. Für die Praxis ist indessen diese Differenz ohne Bedeutung, da absolut trockene Membranen in der Natur nicht vorkommen.

Damit sind die wichtigsten Arbeiten über das Verhalten der einfacheren Gewebe erwähnt. Wenn auch keine völlige Uebereinstimmung der Autoren erreicht ist, so convergiren die Meinungen doch dahin, dass die feuchte Membran für Luft durchlässiger ist als die trockene.

Dass die Ansichten über die Permeabilität der verholzten Membranen nicht so weit geklärt sind, kann nicht überraschen, da das Holz im allgemeinen weit complicirter gebaut ist, als die oben erwähnten Gewebearten. Die ersten Versuche darüber rühren von

---

1) Barthélemy, Annales des sciences nat. 1874. Sér. V, Bd. 19, pag. 138 ff.

2) Lietzmann, Ueber die Permeabilität vegetabilischer Zellmembranen in Bezug auf atmosph. Luft. Flora od. Allg. bot. Ztg. 1887. Jahrg. 70, pag. 339–386.

3) Wiesner und Molisch, Untersuchungen über die Gasbewegung in der Pflanze. Sitzungsber. der kaiserl. Acad. d. Wiss. in Wien, math. naturw. Klasse. Bd. XCVIII, Abth. I. Juli 1889.

4) Wiesner, „Versuche über den Ausgleich des Gasdruckes in den Geweben der Pflanzen". Sitzungsber. der kaiserl. Acad. d. Wiss. in Wien. Bd. 79 1879 I. Abth., pag. 368 ff.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0441-2

Wiesner[1]) her. Er experimentirte in folgender Weise: Aus frischem Tannenholz ausgeschnittene würfelähnliche Stücke wurden auf die eine Oeffnung des horizontalen Schenkels einer T-Röhre aufgekittet und sämmtliche Aussenflächen bis auf die der Oeffnung gegenüberstehende mit Jolly'schem Kitt luftdicht verschlossen. Die freigelassene Fläche war bald eine Querschnittfläche, bald eine radiale oder tangentiale Fläche. Der andere horizontale Schenkel wurde durch einen starken Kautschukschlauch mit der Luftpumpe in Verbindung gesetzt, während das Verticalrohr in Quecksilber tauchte. Wurde im T-Rohr ein luftverdünnter Raum hergestellt, so musste durch das Holz hindurch, falls es permeabel war, ein Druckausgleich stattfinden. Um störende Oeffnungen im Holz auszuschliessen, wurden injicirte und nicht injicirte Pfropfen untersucht. Wiesner fand, dass der Ausgleich bei injicirtem und nicht injicirtem Holz, d. h. bei verstopften und nicht verstopften Tracheïden gleich schnell erfolge. Er schloss daraus, dass die Luft ausschliesslich die Wand passiren müsse. Wie zu erwarten war, trat der Ausgleich in axialer Richtung leichter ein, als in den beiden andern und in tangentialer Richtung wieder leichter als in radialer. Was das Verhältnis der Durchlässigkeit des feuchten zu der des trockenen Holzes betrifft, so beobachtete Wiesner, dass die Luft um so schneller hindurchging, je lufttrockener das Holz wurde. Hierauf werde ich später zurückzukommen haben.

Durch ein wesentlich anderes Experiment als das Wiesner'sche kam von Höhnel[2]) zu dem Ergebniss, dass durch die feuchte Membran hindurch ein Druckausgleich stattfinde. Mit Hilfe eines eigenen, von ihm construirten Apparates wies er nach, dass erst bei einer Druckdifferenz von 60—70 cm Quecksilber eine nennenswerthe Diffusion durch die Gefässwände hindurch stattfindet. Er experimentirte nur mit frischem Holz. Ueber die Abhängigkeit der Diffusionsgeschwindigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt finden sich bei ihm keine Angaben.

An von Höhnel knüpft Strasburger[3]) an. In seinem Apparat erkennt man in allen wesentlichen Zügen den von Höhnel-

1) Wiesner, Versuche über den Ausgleich etc. Wiener Acad.-Ber. Bd. 79, I.

2) von Höhnel, Beiträge zur Kenntniss der Luft- und Saftbewegung in der Pflanze. Pringsheim's Jahrb. für wissenschaftl. Botanik, 1879—81. Bd. XII, pag. 47—131.

3) Strasburger, Histolog. Beiträge, Heft III. Ueber den Bau und die Verrichtungen der Leitungsbahnen in den Pflanzen pag. 710—729. 1891. Jena, Gustav Fischer.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0442-8

schen wieder. In Betreff der Einzelheiten muss auf das Original verwiesen werden. Er kam zu Ergebnissen, die mit den von von Höhnel für feuchte Gefässwände erhaltenen übereinstimmen. Für trockene Membranen stellte er, wie Drude[1]), eine grössere Durchlässigkeit fest, während Lietzmann das Umgekehrte fand. Ausser den oben angeführten Arbeiten begegnet man noch hin und wieder in der Litteratur, z. B. bei Hartig und Böhm[2]), Angaben über diese Fragen, die aber hier übergangen werden können. Aus der eben gegebenen Schilderung geht hervor, dass die Meinungen sich diametral gegenüberstehen, und es ist ohne weiteres klar, dass, je nachdem die eine oder die andere zutrifft, der Verlauf des Durchtrittsprocesses ein anderer sein muss.

Im Folgenden werde ich die Fragen zu beantworten versuchen, ob die feuchten Holzmembranen durchlässiger sind als die trockenen und wie lange es etwa dauert, bis die Luftverdünnungen, die durch Transpiration in Zweigen entstehen, zum grössten Theil ausgeglichen sind.

Untersuchungsmethoden und -resultate.

1. Methodisches.

Wie in der historischen Uebersicht bereits auseinandergesetzt wurde, arbeitete Wiesner[3]) bei seinen Versuchen über die Permeabilität des Holzes mit verschieden ausgeschnittenen Stücken. Bei einer derartigen Versuchsanstellung geht man nie sicher, ob nicht etwaige Intercellularräume oder gefässartig zusammenhängende Tracheïden das Resultat stören. Eine kritische Besprechung der Wiesnerschen Versuche findet sich bei Lietzmann[4]), auf die ich hier verweise. In der zweiten Arbeit, die Wiesner in Gemeinschaft mit Molisch[5]) ausführte, sind Versuche mit Holz nicht beschrieben. Vielmehr sagen die Autoren: „Zu unserem Bedauern ist es trotz vieler Versuche nicht gelungen, verholzte Gewebe ausfindig zu machen, deren Elemente lückenlos aneinanderschliessen, die also zu unseren

1) Drude, Studien über die Conservierungsmethoden des Holzes: „Der Civilingenieur", herausgegeben von E. Hartig, 1889, Bd. 35, Sp. 41. Citirt nach Strasburger, Leitungsb. pag. 729.

2) Böhm, Ueber das Verhalten von vegetabilischen Geweben und von Stärke und Kohle zu Gasen. Bot. Ztg. Jahrg. 41, 1883, pag. 521 ff.

3) Wiesner, Versuche über den Ausgleich u. s. w.

4) Lietzmann, l. c.

5) Wiesner und Molisch, Untersuchungen über die Gasbewegung u. s. w. pag. 700 (31 des. Sep.-Abdr.).

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0443-4

Versuchen geeignet gewesen wären". Die Anwendung dieser Methode war also von vornherein ausgeschlossen.

Auch die von von Höhnel[1]) und Strasburger[2]) angewandten Versuchsanstellungen, denen das gleiche Princip zu Grunde liegt, habe ich vermieden, weil dabei nicht zu umgehen ist, dass der lufttrocken gemachte Pfropf sich während des Versuches unter Wasser befindet, besonders aber, weil es schwer wäre, das Volumen der ein- und austretenden Luft genau zu messen.

Ich habe mich daher im Wesentlichen an Lietzmann[3]) angeschlossen und dessen Versuche, wie es mir gerade zweckmässig erschien, abgeändert. Statt Luft durch Druck oder Saugung durch Holzlamellen hindurchzupressen, wurden Holzstücke, aus Zweckmässigkeitsgründen gewöhnlich cylindrische, entweder in der Compressionspumpe oder einem ähnlichen Apparat einem starken Druck ausgesetzt oder unter der Luftpumpe evacuirt. Wie leicht ersichtlich, ist diese Methode nur für Coniferenholz brauchbar, das zum grössten Theil aus geschlossenen Tracheïden besteht. Eine Abänderung, die auch die Untersuchung von Gefässholz gestattete, ist mir nicht gelungen. Ich glaube jedoch, man kann ohne Bedenken die für Coniferenholz erhaltenen Resultate verallgemeinern.

I. Evacuirungsversuche.

Die Evacuirungsversuche waren von zweierlei Art. Es wurde entweder das nach der Evacuirung in den Pfropf eintretende oder bei der Evacuirung aus ihm austretende Luftquantum in bestimmten Intervallen gemessen. Aus der ausgetretenen Luftmenge konnte dann auf die Schnelligkeit des Durchtritts geschlossen werden. Ich will nicht unterlassen, hier hervorzuheben, dass dieser Schluss nur bedingt richtig ist. Misst man die Durchtrittsgeschwindigkeit durch die ausgetretene Luftmenge, so müsste dieselbe auf die Einheit des Drucks, der Fläche und der Zeit reduzirt werden. Die Luftmenge und die Zeit sind ohne Schwierigkeit zu messen, dagegen lässt sich der Druck sehr schwer constant halten und die Fläche, durch die die Diffusion stattfindet, ist auch nicht annähernd zu bestimmen. Alle Bemühungen also, auf diesem Wege absolute Werthe festzustellen, scheitern; dagegen kann man sehr wohl vergleichbare Werthe erhalten.

Ich lasse jetzt eine genaue Schilderung meiner Versuchsanstellung folgen.

1) von Höhnel, Pringsheim Bd. XII, pag. 61—71 und Tafel III, Fig. 2.
2) Strasburger, Leitungsbahnen, pag. 717 ff.
3) Lietzmann, Flora, pag. 358 ff.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0444-9

a) Evacuirungsversuche, bei denen das in das Holz eintretende Luftquantum gemessen wurde.

Ein cylindrischer Pfropf aus Kiefernholz (Pinus silvestris), dessen Gewicht und Volumen so genau als möglich bestimmt war, wurde unter einem kleinen Recipienten der Luftpumpe 8—10 Tage lang evacuirt. Während dieser Zeit verlor er einen Theil seiner Feuchtigkeit. Der Gewichtsverlust wurde beim Herausnehmen festgestellt und auch das Volumen wieder ermittelt. Die Wägung und Volumbestimmung nahm durchschnittlich eine Minute in Anspruch. Nach Verlauf dieser Zeit wurde der Pfropf in der konisch ausgezogenen Spitze eines 20—30 cm langen Rohres von 10—11 mm innerer Weite festgeklemmt, das mit seinem unteren offenen Ende in ein Gefäss mit roth gefärbtem, abgestandenen Wasser tauchte und zwar zunächst nur 1—2 mm tief. Sobald dann das Wasser in der Röhre stieg, wurde der Behälter durch untergelegte Cartonscheiben gehoben, bis die Niveaudifferenz ausgeglichen war. Dadurch wurde eine lästige Correction vermieden, die jedesmal am Druck hätte angebracht werden müssen. Die nach einer bestimmten Zeit erfolgte Niveauerhöhung wurde entweder mit Hilfe eines Kathetometers festgestellt oder an einer an der betreffenden Röhre angebrachten Scala abgelesen. Die ermittelten Wasserstände waren natürlich nicht ohne Weiteres vergleichbar, sondern es mussten Correctionen wegen der Aenderung des Luftdruckes und der Lufttemperatur angebracht werden.

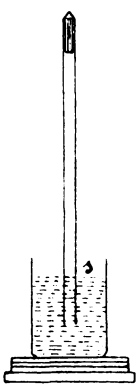


Fig. 1. 1 : 8.

Die Rechnung geschah in folgender Weise. Das Luftvolumen in der Röhre oberhalb des Wassers sei v_1, der Druck der Röhrenluft p, und die Temperatur t_1; das Volumen bei dem Normaldruck $p_0 = 760$ mm Hg und bei der Normaltemperatur $t_0 = 0^0$ C. werde mit v_0 bezeichnet, dann ist nach dem combinirten Boyle-Gay Lussacschen Gesetz:

$$\frac{p_0 v_0}{273 + t_0} = \frac{p_1 v_1}{273 + t_1}$$

oder, wenn man statt der Temperatur nach Celsius die absolute einführt und $273 + t_1 = \tau_1$ und $273 + t_0 = \tau_0$ setzt:

$$\frac{p_0 v_0}{\tau_0} = \frac{p_1 v_1}{\tau_1}$$

also:

$$v_0 = \frac{\tau_0 p_1 v_1}{p_0 \tau_1}.$$

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0445-5

τ_0 und p_0 sind Constanten mit dem oben angegebenen Werth. p_1 ist gleich dem herrschenden Barometerstande b vermindert um die Tension t_s des Wasserdampfes bei $t_1{}^0$ Celsius, also $p_1 = b - t_s$. Das Volumen v_1 erhält man, wenn man vom Gesammtvolumen der Röhre V das Volumen des wassererfüllten Theils, v, und des Pfropfes, P, subtrahirt; also:

$$v_1 = V - v - P.$$

Endlich ist $\tau_1 = 273 + t_1$. Die Reductionsformel ist also:

$$v_0 = \frac{\tau_0 (b - t_s)(V - v - P)}{p_0 (273 + t_1)}$$

Die Drucke wurden an einem Registrirbarometer abgelesen, das, wie ich mich wiederholt überzeugen konnte, recht ungenau arbeitete. Leider stand mir ein anderes Barometer nicht zur Verfügung. Das Gesamtvolumen der Röhre, V, wurde durch Auswägen mit Wasser bestimmt. Bei der Bestimmung des Cubikinhaltes von je 4 cm Röhrenlänge zeigte sich, dass die benutzten Röhren mit ganz geringem Fehler als überall gleich weit angesehen werden konnten; v lässt sich daher durch Multiplication des Querschnitts mit der Steighöhe s, vom untern Röhrenrande an gerechnet, finden. Da der tiefste Punkt des Meniscus abgelesen wurde, so war v um das Volumen des Rotationskörpers zu klein, der unten von der Horizontalen durch den tiefsten Meniscuspunkt, oben von der Meniscusfläche und rings herum von der Röhrenwand begrenzt wurde. Bei einer bestimmten Röhrenweite und Meniscustiefe und unter Voraussetzung des Meniscus als Theils einer Kugeloberfläche ist das Volumen des Rotationskörpers unschwer zu berechnen. Es wurde sofort von dem gefundenen Gesammtvolumen in Abzug gebracht und die erhaltene Differenz gleich V gesetzt. Das Pfropfvolumen wurde durch Eintauchen in Quecksilber bestimmt.

Hat man die succesiven Werthe von v_0 berechnet, so findet man das aus dem Rohr verschwundene Luftvolumen (unter Normalbedingungen gemessen) durch Subtraction jedes folgenden Werthes vom Anfangswerth.

b) Evacuirungsversuche, bei denen das aus dem Pfropf austretende Luftquantum gemessen wurde.

Da die eben geschilderte Methode eine Ueberführung des evacuirten Pfropfes durch atmosphärische Luft hindurch nöthig machte, wurden die übrigen Evacuirungsversuche anders angeordnet und zwar in zweierlei Weise:

Ein Glasrohr von ca. 0,75 m Länge wurde U-förmig gebogen. Der eine Schenkel wurde, nachdem ein Pfropf aus Kiefernholz mit

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0446-1

genau bekanntem Gewicht und Volumen eingeführt war, in eine lange dünne Spitze ausgezogen, die oben offen blieb. War die erhitzte Stelle hinreichend abgekühlt, dann wurde der Pfropf durch Neigen der Röhre in der Spitze festgeklemmt und durch den offenen Schenkel Quecksilber eingegossen, das sich in beiden Schenkeln gleich hoch einstellte. Nachdem durch Zuschmelzen der Spitze ein bestimmtes Luftquantum um den Pfropf herum abgeschlossen war, wurde der ganze Apparat auf einer Kartonscheibe mit zwei passend angebrachten Scalen aus Millimeterpapier befestigt und unter den Recipienten der Luftpumpe gesetzt. Sobald anzunehmen war, dass die Temperatur sich hinreichend ausgeglichen hatte, wurden die Ablesungen gemacht, der Recipient evacuirt und abermals die nöthigen Daten notirt. Die weiteren Beobachtungen wurden etwa täglich einmal vorgenommen.

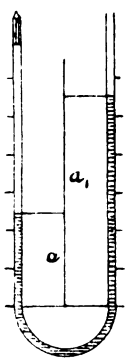


Fig. 2. 1:8

Es sei v_1 das Luftvolumen um den Pfropf, p_1 der Druck und τ_1 die absolute Temperatur. Bezeichnet man, wie schon vorher, den Normaldruck mit p_0 und die Normaltemperatur mit τ_0, so ist das Volumen unter diesen Normalbedingungen:

$$v_0 = \frac{\tau_0 p_1 v_1}{p_0 \tau_1}$$

Der Druck p_1 der abgeschlossenen Luft lässt sich berechnen aus dem im Recipienten herrschenden Druck b, der bei Beginn des Versuches gleich dem Barometerstand, nach der Evacuirung gleich dem Manometerstand ist, aus den Längen der Quecksilbersäulen im geschlossenen und offenen Schenkel, a und a_1 und der Tension t_s des aus dem Pfropf entweichenden Wasserdampfes. Durch diese Grössen ausgedrückt ist:

$$p_1 = b + a_1 - a - t_s.$$

Das Volumen v_1 ist gleich dem Gesammtvolumen des geschlossenen Rohrschenkels, V, vermindert um das Pfropfvolumen P:

$$v_1 = V - P.$$

Endlich ist:

$$\tau_1 = 273 + t_1.$$

Setzt man diese Werthe ein, so wird:

$$v_0 = \frac{\tau_0 (b + a_1 - a - t_s)(V - P)}{p_0 (273 + t_1)}$$

Universitätsbibliothek Regensburg urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0447-7

Die Berechnung der aufeinander folgenden Werthe von v_0 gestattet, wie leicht ersichtlich, einen Schluss auf die Menge der ausgetretenen Luft.

Dasselbe lässt sich auch in folgender Weise erreichen. Man füllt eine sorgfältig gereinigte Barometerröhre von ca. 1 m Länge mit Quecksilber, taucht durch Drücken mit dem Daumen einen Pfropf von bekanntem Gewicht und Volumen langsam so weit ein, bis der Daumen dem Röhrenende fest aufliegt, wobei man genau darauf zu achten hat, dass keine Luftblasen mit eingeschlossen werden. Hat man die an der Röhre anhaftenden Quecksilbertropfen entfernt, so wird sie umgekehrt und in eine Quecksilberwanne getaucht. Ist dies geschehen, so liest man die Höhe der Quecksilbersäule d, den Barometerstand b und die Temperatur t ab. Es ist wieder, wie oben:

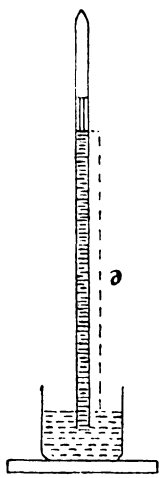


Fig. 3. 1 : 20.

$$v_0 = \frac{\tau_0 p_1 v_1}{p_0 \tau_1}$$

wo
$$p_1 = b - d - t_s$$
$$v_1 = V - P$$
$$\tau_1 = 273 + t_1.$$

Setzt man diese Werthe ein, so wird:

$$v_0 = \frac{\tau_0 (b - d - t_s)(V - P)}{p_0 (273 + t_1)}$$

Im Uebrigen gilt dasselbe wie bei der vorigen Versuchsanstellung.

II. Compressionsversuche.

Es wurde wieder, wie bei den Evacuirungsversuchen, entweder das Luftquantum gemessen, das bei der Compression in den Pfropf ein-, oder das, welches nach der Compression aus ihm austrat.

Die Compressionsversuche wurden zunächst so angestellt, dass ein cylindrischer Pfropf von bekanntem Gewicht und Volumen in das seitliche Ansatzrohr des Windkessels einer Compressionspumpe gebracht und einem Ueberdruck von 1—1¼ Atmosphären ausgesetzt wurde. Es zeigte sich aber bald, dass die Ventile nicht dicht genug schlossen, um eine 8—10tägige Compression zu ermöglichen. Nach 1—2 Stunden war das Manometer bereits wieder auf ¼ oder ⅕ Atmosphäre gesunken.

Ich änderte deshalb den Versuch ab. Ein ca. 2 m langes Glasrohr wurde U-förmig so gebogen, dass der eine Schenkel eine Länge von etwa 1,80 m und der andere von 0,10 m hatte. Mit Hilfe eines

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0448-3

starkwandigen Kautschukschlauches wurde an dem letzteren eine oben geschlossene, ca. 0,30 cm lange Röhre befestigt, in deren Spitze ein Pfropf festgeklemmt war. Durch Eingiessen von Quecksilber in den langen Schenkel wurde ein bestimmter Ueberdruck hergestellt, wobei darauf geachtet wurde, dass das Quecksilber im kürzeren Schenkel höher stand als das obere Ende der Kautschukverbindung. Ein Entweichen von Luft war also ausgeschlossen. Bei der ersten Ablesung war der Quecksilbermeniscus in beiden Schenkeln annähernd gleich hoch. Erst dann wurde unter möglichster Neigung der Röhre vorsichtig Quecksilber in grösserer Menge eingegossen und nach Aufrichtung des ganzen Apparates und Befestigung an einer vorher angefertigten Scala abermals eine Ablesung gemacht.

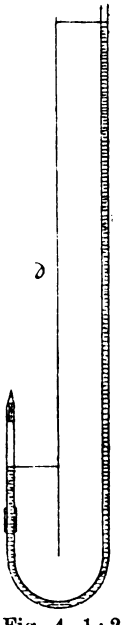


Fig. 4. 1 : 28.

Es sei d die Höhendifferenz der beiden Quecksilbersäulen, b der Barometerstand, t_1 die Temperatur, t_s die Tension des Wasserdampfes bei $t_1{}^0$, V der durch das Quecksilber im geschlossenen Schenkel abgesperrte Hohlraum und P das Pfropfvolumen. Dann ist, wie oben:

$$v_0 = \frac{\tau_0 p_1 v_1}{p_0 \tau_1}$$

Da

$$p_1 = b + d - t_s,$$
$$v_1 = V - P,$$
$$\tau_1 = 273 + t_1,$$

so wird:

$$v_0 = \frac{\tau_0 (b + d - t_s)(V - P)}{p_0 (273 + t_1)}$$

Für die Berechnung der eingetretenen Luftquanta gilt dasselbe, was schon oben gesagt ist.

Der Pfropf, welcher zu diesem Experiment gedient hatte, wurde auch zur Bestimmung der austretenden Luftmenge verwandt. Zu diesem Zweck wurde er in der Spitze einer Röhre festgeklemmt, die Röhre mit luftgesättigtem Wasser gefüllt und umgekehrt in ein Gefäss mit Wasser getaucht. Das Sinken der Wassersäule gab unter Beachtung des herrschenden Drucks und der herrschenden Temperatur über die Schnelligkeit des Durchtritts Aufschluss. Die anzuwendende Reductionsformel lautet, wenn b der Barometerstand, t_1 die Temperatur, t_s die Tension des Wasserdampfes bei t^0 C., d die Länge der Wassersäule vom unteren Wasserspiegel an gerechnet, l die Entfernung des oberen Wasserspiegels vom unteren Röhrenrand, q der

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0449-1

Querschnitt der Wassersäule und s das specifische Gewicht des Quecksilbers bei t_1^0 ist:

$$v_0 = \frac{\tau_0 (b - \frac{d}{s} - t_s)(V - P - lq)}{p_0 (273 + t_1)}.$$

Dabei ist darauf zu achten, dass, so lange der Pfropf in Wasser taucht, sein Gesammtvolumen P vermindert um das Volumen des eingetauchten Theils als P in Rechnung zu setzen ist.

Auf die Fehlerquellen werde ich bei der Besprechung der Versuche, zu der ich jetzt übergehe, zurückkommen.

2. Versuche.

I. Evacuirungsversuche mit feuchtem Holz.

Versuch 1. Ein Pfropf vom Gewichte 7,31 g und dem Volumen 7,0 ccm wurde evacuirt. Während eines Zeitraumes von 167 Stunden stieg der Druck im Recipienten nicht höher als 2 cm Quecksilber. Der Pfropf wurde herausgenommen, gewogen und in der Spitze einer in Eosinwasser tauchenden Röhre festgeklemmt. Das Gewicht des Pfropfes nach der Evacuirung betrug 4,64 g, nach dem Versuch 4,60 g, absolut trocken 3,06 g. Die Beobachtungen und Resultate stelle ich in der nachfolgenden Tabelle zusammen:

Nr.	Tag	Stunde	t_1^0	b	s	p_1	v_1	τ_1	v_0
1	1	5^5 N.	12,1	76,0	19,64	74,9	12,5	285,1	11,8
2	2	8^{55} V.	11,8	75,6	20,44	74,6	11,7	284,8	11,0
3	2	5 N.	12,0	75,5	20,63	74,5	11,5	285,0	10,8
4	3	8^{55} V.	11,5	75,2	20,93	74,2	11,2	284,5	10,5
5	4	8^{55} V.	11,0	74,5	21,47	73,5	10,6	284,0	9,86
6	4	5^{11} N.	11,6	74,7	21,70	73,7	10,4	284,6	9,67
7	5	8^{55} V.	11,0	75,0	21,91	74,0	10,2	284,0	9,55
8	5	5^5 N.	11,5	75,3	21,94	74,3	10,16	284,5	9,53
9	6	8^{55} V.	11,5	74,8	21,70	73,8	10,4	284,5	9,6
10	7	8^{51} V.	11,5	76,0	21,82	75,0	10,28	284,5	9,7
11	8	8^{40} V.	11,0	75,15	21,83	74,8	10,27	284,0	9,7
12	9	8^{45} V.	11,5	74,9	21,80	73,9	10,3	284,5	9,6

Zur Berechnung von v_0 muss noch bekannt sein

$$v = 21{,}1 \text{ ccm},$$

der Rauminhalt der Röhre für 1 cm Länge, 1,006 ccm, und die Höhe des unteren Röhrenrandes über einem willkürlichen Nullpunkt, 18,02 cm.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0450-2

Um zu zeigen, wie sich die Rechnung gestaltet, führe ich sie für ein Beispiel durch. Bei der ersten Ablesung ergab sich:

$$t = 12{,}1\,^0\ \text{C.}$$
$$b = 76{,}0\ \text{cm}$$
$$s = 19{,}64\ \text{cm.}$$

Für diese Werthe wird: $p_1 = b - t_s = 76{,}0 - 1{,}1 = 74{,}9$

$$v_1 = V - v - P.$$

Es ist $V = 21{,}1$ ccm; $P = 7{,}0$ ccm; v wird erhalten durch Multiplication des Röhrenquerschnitts mit der Steighöhe vom unteren Röhrenrande an gerechnet, ist also in diesem Falle $(19{,}64 - 18{,}02)\ 1{,}006 = 1{,}62 \,.\, 1{,}006 = 1{,}63$ ccm. Daher wird:

$$v_1 = 21{,}1 - 1{,}63 - 7{,}0 = 12{,}5\ \text{ccm}$$
$$\tau_1 = 273 + t^1 = 273 + 12{,}1 = 285{,}1.$$

Es ergibt sich also: $v_0 = \dfrac{273 \,.\, 74{,}9 \,.\, 12{,}5}{76 \,.\, 285{,}1}$

$$\lg \frac{273}{76} = 0{,}5554$$
$$\lg\ 74{,}9 = 1{,}8745$$
$$\lg\ 12{,}5 = 1{,}0969$$
$$\text{cplg}\ 285{,}1 = 0{,}5450 - 3$$
$$\lg\ v_0 = 1{,}0718$$
$$v_0 = 11{,}8\ \text{ccm.}$$

Das während des Zeitraumes von 9 Tagen vom Pfropf aufgenommene Luftquantum beträgt $11{,}8 - 9{,}6 = 2{,}2$ ccm. Der Versuch zeigt, dass der Druckausgleich verhältnissmässig langsam vor sich geht. Allerdings muss dabei betont werden, dass der Pfropf beim Evacuiren einen grossen Theil seiner Feuchtigkeit verloren hatte, die Membran also annähernd lufttrocken geworden war.

Versuch 2. Ein Pfropf wurde 150 Stunden lang evacuirt. Der Druck im Recipienten der Luftpumpe stieg nicht über 2 cm. Aus weiter unten näher zu erörternden Gründen wurden die Gewichte und Volumina des Pfropfes zu verschiedenen, in der folgenden kleinen Tabelle näher bezeichneten Zeiten genau bestimmt. Es ergaben sich folgende Werthe:

	Gewicht	Volumen
1. Vor der Evacuirung . . .	6,15	6,05
2. Nach der Evacuirung . .	6,06	6,05
3. Nach dem Versuch . . .	5,93	6,05
4. Absolut trocken	2,28	5,91

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0451-8

Die Menge des bei der Evacuirung verdunstenden Wassers konnte dadurch wesentlich herabgesetzt werden, dass eine besser schliessende Luftpumpe angewandt wurde, die nur ein einmaliges Auspumpen nöthig machte.

Das Röhrenvolumen betrug insgesammt 27,30 ccm, pro Centimeter Länge 0,977 ccm. Das untere Ende der Röhre hatte die Höhe 18,64 cm.

Der Versuch ergab folgendes Resultat:

Nr.	Tag	Stunde	t	b	s	p_1	v_1	τ_1	v_0
1	1	5^{15} N.	13,0	75,4	18,94	74,3	20,95	286,0	19,55
2	2	9^{35} V.	11,9	75,7	19,70	74,7	20,22	284,9	19,04
3	3	8^{47} V.	11,0	75,8	20,35	74,8	19,58	284,0	18,52
4	4	8^{5} V.	11,0	76,4	21,34	75,4	18,71	284,0	17,84
5	5	8^{50} V.	12,0	75,8	21,76	74,7	18,20	285,0	17,14
6	6	11^{50} V.	13,0	76,4	22,75	75,3	17,23	286,0	16,29
7	7	8^{40} V.	12,3	76,7	23,28	75,6	16,62	285,3	15,81
8	8	8^{40} V.	12,8	76,9	23,56	75,8	16,44	285,8	15,66
9	9	9^{30} V.	12,8	76,9	23,57	75,8	16,43	285,8	15,65
10	10	8^{35} V.	12,5	76,7	23,60	75,6	16,40	285,5	15,60

Es sind also 19,55 — 15,60 = 3,95 ccm Luft von der Spannung 76 cm Quecksilber und der Temperatur 0° in den Pfropf eingetreten, die bei dem am Schluss herrschenden Druck von 75,6 cm Quecksilber und der Temperatur 12,5° C. das Volumen:

$$\frac{76 \,.\, 285{,}5 \,.\, 3{,}95}{273 \,.\, 75{,}6} = 4{,}15 \text{ ccm}$$

einnahmen. Da mir dies Volumen zu gross zu sein schien, führte ich die oben bereits erwähnten Wägungen aus, um nach dem von Sachs angegebenen Verfahren das Volumen der Hohlräume zu bestimmen, das gleich dem Gesammtvolumen des Pfropfes, vermindert um die Summe des Wand- und Wasservolumens ist. Das Gesammtvolumen ergibt sich durch Eintauchen in Quecksilber. Verhältnissmässig einfach ist auch die Ermittelung des Wasservolumens. Man trocknet den Pfropf bei 102—104° C. im Trockenschrank mehrere Stunden, lässt ihn sich abkühlen und wägt ihn. Das gefundene Gewicht zieht man von dem unmittelbar nach dem Versuch erhaltenen ab, wodurch sich das Gewicht und damit auch das Volumen des im Pfropf enthaltenen Wassers ergibt. Zur Ermittelung des Wandvolumens ist die Kenntniss des specifischen Gewichts der Wandsubstanz erforderlich. Zu seiner Bestimmung schlug Sachs folgende Wege ein: Er durchtränkte Holzstücke oder -lamellen durch Druck oder Kochen mit Wasser vollständig, stellte durch Wägung in Wasser ihren Gewichtsverlust

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0452-4

fest, der durch Division in das Trockengewicht das specifische Gewicht lieferte. Durch derartige Versuche erhielt er für das specifische Gewicht der Wandsubstanz von Pinus Pumilio und Abies pectinata den Werth 1,5. Da bei der Anwendung von Wasser als Durchtränkungsmittel die Gefahr nahe lag, dass nicht alle Luft vertrieben wurde, und daher das Wandvolumen zu gross, das specifische Gewicht also zu klein ausfiel, legte Sachs Holzstücke in Alkohol, der mehrfach erneuert wurde. Im Uebrigen war das Verfahren dasselbe; nur wurde die Wägung in Alkohol von bestimmtem specifischen Gewicht ausgeführt statt in Wasser. Für Abies pectinata erhielt Sachs nach dieser Methode 1,523. Endlich ein drittes Verfahren, das im Eintauchen dünner Lamellen in eine Lösung von solchem specifischen Gewicht bestand, dass die Lamellen gerade noch zu Boden sanken, lieferte Werthe zwischen 1,54 und 1,56. Ich habe desshalb für das specifische Gewicht der Wandsubstanz den Werth 1,55 angenommen. Durch Division des Trockengewichts durch 1,55 ergibt sich das Wandvolumen.

In unserem Fall beträgt das Gesammtvolumen . . . 6,05 ccm

$$\text{Wandvolumen} = \frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gewicht}} = \frac{2{,}38}{1{,}55} = \ldots\ldots 1{,}53 \text{ ccm}$$

Wasservolumen = Gew. nach d. Versuch − Trockengewicht =
$5{,}93 - 2{,}38 = 3{,}55$ ccm

Wand- + Wasservolumen . . . . . $1{,}53 + 3{,}55 = 5{,}08$ ccm

Hohlräume . . . . . 0,97 ccm

Dieser Hohlraumgrösse 0,97 ccm steht das oben berechnete Luftvolumen 4,15 ccm gegenüber. Es ergibt sich also eine Differenz von 3,18 ccm. Ein durchaus analoges Verhalten zeigten alle übrigen Pfropfe. Ich theile hier noch einige weitere Versuchsergebnisse mit.

Versuch 3. Die Dauer der Evacuirung betrug 150 Stunden bei einem Druck im Recipienten von nicht über 2 cm Quecksilber. Das Röhrenvolumen war insgesammt 22,12 ccm, pro Centimeter Länge 0,896 ccm. Der untere Rand der Röhre hatte während der Ablesungen 1—6 die Höhe 20,11 cm, von 7—10 19,86 cm. Das Versuchsergebniss war folgendes:

Nr.	Tag	Stunde	t	b	s	p_1	v_1	τ_1	v_0
1	1	5^{15} N.	13,0	75,4	20,33	74,3	16,29	286,0	15,20
2	2	9^{35} V.	11,9	75,7	21,21	74,7	15,50	284,9	14,60
3	3	8^{47} V.	11,0	75,8	21,94	74,8	14,85	284,0	14,05
4	4	8^{5} V.	11,0	76,4	22,75	75,4	14,12	284,0	13,46
5	5	8^{50} V.	12,0	75,8	23,09	74,7	13,82	285,0	13,01
6	6	11^{50} V.	13,0	76,4	23,91	75,3	13,09	286,0	12,38
7	7	8^{40} V.	12,3	76,7	24,36	75,6	12,46	285,3	11,86
8	8	8^{40} V.	12,8	76,9	24,53	75,8	12,33	285,8	11,75
9	9	9^{20} V.	12,8	76,9	24,55	75,8	12,29	285,8	11,71
10	10	8^{35} V.	12,5	76,7	24,56	75,6	12,28	285,5	11,68

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0453-9

Das in den Pfropf eingetretene Luftvolumen hatte die Grösse 15,20 — 11,68 = 3,52 ccm unter normalem Druck und bei der Temperatur 0°. Bei der am Schluss herrschenden Temperatur von 12,5° C. und dem Druck 75,6 cm Hg würden diese 3,52 ccm den Raum:

$$\frac{76 \cdot 285{,}5 \cdot 3{,}52}{273 \cdot 75{,}6} = 3{,}70 \text{ ccm}$$

einnehmen.

Die Volumina und Gewichte des Pfropfes waren:

	Gewicht	Volumen
1. Vor der Evacuirung . . .	5,83	5,63
2. Nach der Evacuirung . .	5,82	5,63
3. Nach dem Versuch . . .	5,68	5,63
4. Absolut trocken	2,12	5,07

Das Volumen der Hohlräume berechnet sich also in folgender Weise:

Gesammtvolumen . . . . . 5,63 ccm

$$\text{Wandvolumen} = \frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gewicht}} = \frac{2{,}12}{1{,}55} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 1{,}37 \text{ ccm}$$

Wasservolumen = Gew. nach d. Versuch — Trockengewicht =
5,68 — 2,12 = 3,56 ccm

Summe des Wand- + Wasservolumens . . . . . 4,93 ccm

Es bleibt also für die Hohlräume ein Rest von 5,63 — 4,93 = 0,70 ccm, den das eingetretene Luftvolumen um 3,00 ccm übertrifft.

Versuch 4. Der Pfropf wurde 150 Stunden in einem Recipienten liegen gelassen, in dem der Druck nicht über 2 cm Hg stieg. Röhrenvolumen insgesammt 21,10 ccm, pro Centimeter Länge 1,028 ccm. Der untere Rand der Röhre hatte die Höhe 21,27 cm. Resultat:

Nr.	Tag	Stunde	t	b	s	p_1	v_1	τ_1	v_0
1	1	5^{15} N.	13,0	75,4	21,46	74,3	14,33	286,0	13,37
2	2	9^{35} V.	11,9	75,7	21,91	74,7	13,87	284,9	13,06
3	3	8^{47} V.	11,0	75,8	22,36	74,8	13,41	284,0	12,69
4	4	8^{5} V.	11,0	76,4	23,06	75,4	12,69	284,0	12,10
5	5	8^{50} V.	12,0	75,8	23,38	74,7	12,36	285,0	11,64
6	6	11^{50} V.	13,0	76,4	24,38	75,3	11,33	286,0	10,72
7	7	8^{40} V.	12,3	76,7	24,46	75,6	11,25	285,3	10,71
8	8	8^{40} V.	12,8	76,9	24,67	75,8	11,03	285,8	10,51
9	9	9^{20} V.	12,8	76,9	24,78	75,8	10,92	285,8	10,40
10	10	8^{35} V.	12,5	76,9	24,77	75,6	10,93	285,5	10,40

Es traten also 13,37 — 10,40 = 2,97 ccm Luft von der Spannung 76,0 cm Hg und der Temperatur 0° in den Pfropf ein. Bei dem

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0454-5

zur Zeit der letzten Ablesung herrschenden Druck von 75,6 cm Hg und der Temperatur 12,5° C. nehmen diese 2,97 ccm das Volumen

$$\frac{76 \,.\, 285{,}5 \,.\, 2{,}97}{273 \,.\, 75{,}6} = 3{,}12 \text{ ccm}$$

ein.

Für die Gewichte und Volumina des Pfropfes ergaben sich die Werthe:

	Gewicht	Volumen
1. Vor der Evacuirung . . .	6,41	6,6
2. Nach der Evacuirung . .	6,30	6,6
3. Nach dem Versuch . . .	6,22	6,57
4. Absolut trocken	2,53	6,21

Am Schlusse des Versuches betrug also das

Gesammtvolumen . . . . . 6,57 ccm

$$\text{Wandvolumen} = \frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gewicht}} = \frac{2{,}53}{1{,}55} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 1{,}63 \text{ ccm}$$

Wasservolumen = Gew. nach d. Versuch — Trockengewicht = 6,22 — 2,53 = 3,69 ccm

Wand- + Wasservolumen . . . . . 5,32 ccm

Hohlräume 6,57 — 5,32 . . . . . = 1,25 ccm

Das Volumen der eingedrungenen Luft ist also um 1,87 ccm grösser.

Dasselbe Ergebniss lieferten eine ganze Reihe weiterer Versuche, die theils im November und December, theils im März und Juni gemacht wurden. Stets nahm das Quantum der eingedrungenen Luft einen grösseren Raum ein als die Hohlräume. Für diese auffallende Thatsache wusste ich anfangs keine Erklärung. Dass die Eosinlösung den Fehlbetrag sollte absorbirt haben, war nicht wahrscheinlich, da sie Zeit genug gehabt hatte, sich mit Luft zu sättigen. Ich machte aber doch einen Controllversuch, indem ich eine calibrirte, oben geschlossene Röhre an einem Stativ so befestigte, dass sie mit ihrem unteren Ende in die Lösung tauchte, und beobachtete, was geschehen würde. Der Meniscus folgte den Druck- und Temperaturschwankungen, ein dauerndes Steigen fand aber nicht statt. Der Versuch bewies gleichzeitig, dass von einer irgendwie in Betracht kommenden Verdichtung der Luft auf den Wänden des Röhrenhohlraumes nicht die Rede sein konnte. Es blieb also nur noch die Möglichkeit, dass der Pfropf die Luft aufgenommen haben könnte. Um das Quantum der aufgenommenen Luft zu bestimmen, verfuhr ich genau nach der oben geschilderten Methode.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0455-1

Versuch 5. Ein Pfropf, der aus demselben Ast geschnitten war, wie der zum Versuch 2 verwandte, wurde frisch in ein Rohr eingeschlossen, dessen Volumen insgesammt 20,79 ccm, pro Centimeter Länge 1,028 ccm betrug. Der untere Röhrenrand hatte die Höhe 21,58 cm. Resultat:

Nr.	Tag	Stunde	t	b	s	p_1	v_1	τ_1	v_0
1	1	10^{15} V.	12,1	75,6	21,58	74,6	13,97	285,1	13,13
2	2	9^{15} V.	12,1	75,9	21,89	74,9	13,65	285,1	12,88
3	3	9^{35} V.	12,7	75,8	22,08	74,7	13,46	285,7	12,64
4	4	9^{30} V.	12,5	75,6	22,55	74,5	12,97	285,5	12,16
5	5	9^{15} V.	12,4	75,8	22,98	74,7	12,53	285,4	11,78
6	6	10^{20} V.	11,7	75,3	23,38	74,3	12,12	284,7	11,33
7	7	9 V.	10,9	75,2	23,74	74,2	11,75	283,9	11,04
8	8	8^{55} V.	10,8	75,4	24,10	74,4	11,38	283,8	10,72
9	9	9^{25} V.	11,6	75,2	24,25	74,2	11,23	284,6	10,5
10	10	10^{5} V.	11,8	75,6	24,26	74,6	11,22	284,8	10,5

Das aufgenommene Quantum Luft von der Temperatur 0° C. und dem Druck 76,0 cm Quecksilber beträgt also 2,6 ccm. Zur Berechnung der Grösse der Hohlräume dienen folgende Angaben:

	Gewicht	Volumen
1. Vor dem Versuch . . .	7,62	6,89
2. Nach dem Versuch . .	7,48	6,85
3. Absolut trocken . . .	2,85	6,3

Auf Grund dieser Daten ergibt sich für die Hohlräume:

Gesammtvolumen . . . . . 6,85 ccm

$$\text{Wandvolumen} = \frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gewicht}} = \frac{2{,}85}{1{,}55} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 1{,}84 \text{ ccm}$$

Wasservolumen = Gew. nach d. Versuch — Trockengewicht =
$7{,}48 - 2{,}85 = 4{,}63$ ccm

Wand- + Wasservolumen . . . . . 6,47 ccm

Volumen der Hohlräume . . . . . 0,38 ccm

Nimmt man selbst an, die Hohlräume seien luftleer gewesen, so würden sie doch zur Erklärung der Aufnahme von 2,6 ccm Luft nicht ausreichen. Ein ähnliches Ergebniss hatten die folgenden Versuche.

Versuch 6. Dieser Versuch wurde ebenso wie der vorige angestellt. Das Röhrenvolumen betrug insgesammt 20,79 ccm, pro Centimeter Länge 1,028 ccm. Das untere Ende der Röhre hatte die Höhe 19,02 cm. Resultat:

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0456-7

Nr.	Tag	Stunde	t	b	s	p_1	v_1	τ_1	v_0
1	1	7^{12} N.	25,3	75,2	19,02	72,8	14,79	298,3	12,96
2	2	7^{30} V.	25,6	75,4	19,49	73,0	14,31	298,6	12,57
3	3	9^{25} V.	24,8	75,7	20,81	73,4	12,95	297,8	11,47
4	4	8^{15} V.	24,5	76,3	21,45	74,0	12,29	297,5	10,98
5	5	8^{5} V.	24,5	76,4	21,65	74,1	12,09	297,5	10,82
6	6	8^{36} V.	24,4	76,3	21,92	74,0	11,81	297,4	10,55
7	7	7^{38} V.	24,1	75,8	21,95	73,6	11,78	297,1	10,48
8	8	7^{55} V.	23,5	75,8	22,15	73,6	11,68	296,5	10,41
9	9	8^{40} V.	23,1	75,5	22,18	73,4	11,54	296,1	10,28
10	11	8^{35} V.	22,0	75,8	22,40	73,8	11,32	295,0	10,17
11	12	8^{30} V.	23,8	76,0	22,33	73,8	11,39	296,8	10,17
12	13	8 V.	23,4	75,8	22,29	73,7	11,43	296,4	10,21

Es traten also 2,75 ccm Luft von Normalspannung und der Temperatur 0° C. in den Pfropf ein. Berechnet man wieder unter Zugrundelegung der festgestellten Gewichte und Volumina die Grösse der Hohlräume, so zeigt sich Folgendes:

	Gewicht	Volumen
1. Vor dem Versuch . . .	6,22	6,00
2. Nach dem Versuch . .	6,01	6,00
3. Absolut trocken . . .	2,53	5,7

Gesammtvolumen nach dem Versuch . . . . . 6,00 ccm

$$\text{Wandvolumen} = \frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gewicht}} = \frac{2{,}53}{1{,}55} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 1{,}63 \text{ ccm}$$

Wasservolumen = Gew. nach d. Versuch — Trockengewicht =
$6{,}01 - 2{,}53 = 3{,}48$ ccm

Wand- + Wasservolumen . . . . . 5,11 ccm

Hohlräume . . . . . 0,89 ccm

denen ein Luftquantum von 2,75 ccm gegenübersteht. Es gilt also wieder dasselbe, was schon beim vorigen Versuch gesagt ist.

Versuch 7. Anordnung wie bei 5 und 6. Das Röhrenvolumen betrug insgesammt 18,34 ccm, pro Centimeter Länge 0,888 ccm. Der untere Rand der Röhre hatte die Höhe 20,08 cm. Resultat:

Nr.	Tag	Stunde	t	b	s	p_1	v_1	τ_1	v_0
1	1	7^{12} N.	25,3	75,2	20,08	72,8	13,18	298,3	11,55
2	2	7^{30} V.	25,6	75,4	20,47	73,0	12,83	298,6	11,27
3	3	9^{25} V.	24,8	75,7	21,94	73,4	11,53	297,8	10,21
4	5	8^{15} V.	24,5	76,3	22,77	74,0	10,79	297,5	9,64
5	6	8^{5} V.	24,5	76,4	23,09	74,1	10,51	297,5	9,40
6	7	8^{36} V.	24,4	76,3	23,34	74,0	10,29	297,4	9,20
7	8	7^{38} V.	24,1	75,8	23,35	73,6	10,28	297,1	9,15
8	9	7^{55} V.	23,5	75,8	23,44	73,6	10,20	296,5	9,10
9	10	8^{40} V	23,1	75,5	23,38	73,4	10,25	296,1	9,13
10	12	8^{35} V.	22,0	75,8	23,62	73,8	10,04	295,0	9,02
11	13	8^{30} V.	23,8	76,0	23,62	73,8	10,04	296,8	8,97
12	14	8 V.	23,4	75,8	23,51	73,7	10,13	296,4	9,05

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0457-2

Das eingetretene Luftquantum war also 2,5 ccm. Ferner war:

	Gewicht	Volumen
1. Vor dem Versuch . . .	5,32	5,16
2. Nach dem Versuch . .	5,18	5,16
3. Absolut trocken . . .	2,64	4,9

Für die Hohlräume ergibt sich daher:

Volumen nach dem Versuch . . . . . 5,16 ccm

$$\text{Wandvolumen} = \frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gewicht}} = \frac{2{,}64}{1{,}55} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad = 1{,}70 \text{ ccm}$$

Wasservolumen = Gew. nach d. Versuch — Trockengewicht =
5,18 — 2,64 = 2,54 ccm

Wand- + Wasservolumen . . . . . 4,24 ccm

Hohlräume 5,16 — 4,24 . . . . . = 0,92 ccm

Die Pfropfe der Versuche 6 und 7 stammten von demselben Ast.

Versuch 8. Röhrenvolumen insgesammt 27,30 ccm, pro Centimeter Länge 0,977 ccm. Der untere Röhrenrand hatte die Höhe 19,50 cm.

Nr.	Tag	Stunde	t	b	s	p_1	v_1	τ_1	v_0
1	1	7^{10} N.	25,3	75,2	19,50	72,8	21,30	298,3	18,68
2	2	7^{30} V.	25,6	75,4	19,87	73,0	20,94	298,6	18,39
3	3	9^{25} V.	24,8	75,7	21,71	73,4	19,14	297,8	16,95
4	5	8^{15} V.	24,5	76,3	22,78	74,0	18,11	297,5	16,18
5	6	8^{5} V.	24,5	76,4	23,27	74,1	17,62	297,5	15,76
6	7	8^{35} V.	24,4	76,3	23,48	74,0	17,42	297,4	15,57
7	8	7^{38} V.	24,1	75,8	23,63	73,6	17,26	297,1	15,36
8	9	7^{55} V.	23,5	75,8	23,82	73,6	17,07	296,5	15,22
9	10	8^{40} V.	23,1	75,5	23,94	73,4	16,96	296,1	15,10
10	12	8^{35} V.	22,0	75,8	24,40	73,8	16,51	295,0	14,84
11	13	8^{30} V.	23,8	76,0	24,23	73,8	16,68	296,8	14,90
12	14	8 V.	23,4	75,8	24,22	73,7	16,69	296,4	14,91

Die Gewichte und Volumina beliefen sich auf:

	Gewicht	Volumen
1. Vor dem Versuch	6,02	6,0
2. Nach dem Versuch . . .	5,79	6,0
3. Absolut trocken	2,25	5,5

Für die Hohlräume ergab sich also:

Volumen nach dem Versuch . . . . . 6,0 ccm

$$\text{Wandvolumen} = \frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gewicht}} = \frac{2{,}25}{1{,}55} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad = 1{,}45 \text{ ccm}$$

Wasservolumen = Gew. nach d. Versuch — Trockengewicht =
5,79 — 2,25 = 3,54 ccm

Wand- + Wasservolumen . . . . . 4,99 ccm

Hohlräume . . . . . 1,01 ccm

Das eingetretene Luftquantum betrug dagegen 3,77 ccm.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0458-8

Versuch 9. Das Röhrenvolumen war insgesammt 22,12 ccm, pro Centimeter Länge 0,896 ccm. Der untere Röhrenrand hatte die Höhe 20,44 cm. Resultat:

Nr.	Tag	Stunde	t	b	s	p_1	v_1	τ_1	v_0
1	1	7^{10} N.	25,3	75,2	20,44	72,8	17,66	298,3	15,48
2	2	7^{30} V.	25,6	75,4	20,84	73,0	17,30	298,6	15,19
3	3	9^{25} V.	24,8	75,7	22,60	73,4	15,72	297,8	13,92
4	5	8^{15} V.	24,5	76,3	23,66	74,0	14,77	297,5	13,20
5	6	8^{5} V.	24,5	76,4	23,93	74,1	14,53	297,5	13,00
6	7	8^{35} V.	24,4	76,3	24,08	74,0	14,39	297,4	12,86
7	8	7^{38} V.	24,1	75,8	24,18	73,6	14,31	297,1	12,73
8	9	7^{55} V.	23,5	75,8	24,52	73,6	14,00	296,5	12,48
9	10	8^{40} V.	23,1	75,5	24,69	73,4	13,85	296,1	12,33
10	12	8^{35} V.	22,0	75,8	24,97	73,8	13,60	295,0	12,22
11	13	8^{30} V.	23,8	76,0	24,89	73,8	13,67	296,8	12,21
12	14	8 V.	23,4	75,8	25,00	73,7	13,57	296,4	12,12

Für die Gewichte und Volumina wurden folgende Werthe erhalten:

	Gewicht	Volumen
1. Vor dem Versuch . . .	4,55	4,46
2. Nach dem Versuch . .	4,33	4,46
3. Absolut trocken . . .	1,62	4,10

Das Volumen nach dem Versuch betrug . . . . . 4,46 ccm

$$\text{Wandvolumen} = \frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gewicht}} = \frac{1,65}{1,55} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad = 1,05 \text{ ccm}$$

Wasservolumen = Gew. nach d. Versuch — Trockengewicht =
$4,33 - 1,62 = 2,71$ ccm

Wand- + Wasservolumen . . . . . $1,05 + 2,71 = 3,76$ ccm

Hohlräume . . . . . 0,70 ccm

Eingetretenes Luftquantum . . . . . $15,48 - 12,12 = 3,76$ ccm

Die zum Versuch 8 und 9 benutzten Pfropfe wurden aus demselben Stück Kiefernholz geschnitten und gleichzeitig beobachtet.

Berechnet man für die Versuche 6—9 das von der Volumeneinheit Frischholz aufgenommene Luftquantum, so ergibt sich für:

Versuch 6: 2,75 : 6 = 0,46 ccm
„ 7: 2,5 : 5,16 = 0,48 ccm
„ 8: 3,77 : 6 = 0,63 ccm
„ 9: 3,36 : 4,46 = 0,75 ccm

Die Uebereinstimmung zwischen je zwei Parallelversuchen, d. h. zwischen 6 u. 7 und 8 u. 9, ist also einigermaassen befriedigend. Dagegen sind die Luftquanta, die von Pfropfen aufgenommen wurden, welche verschiedenen Aesten entstammten, durchaus verschieden. Dasselbe zeigten weitere Versuche, auf deren ausführliche Schilderung ich hier verzichte. Es mögen nur die Resultate angeführt werden:

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0459-7

Volumen des feuchten Pfropfes:	Aufgenommenes Luftquantum:
3,40 ccm	2,91 ccm
4,00 ccm	1,47 ccm
2,7 ccm	2,90 ccm
3,6 ccm	3,51 ccm

Die beiden letzten Versuche wurden mit Pfropfen aus demselben Aststück angestellt. Die Uebereinstimmung der von der Frischvolumeneinheit aufgenommenen Luftquantitäten ist dementsprechend wieder eine angenäherte, 1,02 bezw. 0,98 ccm.

Es mag hier bemerkt werden, dass nach Verlauf von 14 Tagen die Aufnahme von Luft keineswegs aufhört. Sie geht wochen-, ja monatelang langsam aber stetig weiter.

Evacuirung feuchter Pfropfe im U-Rohr und im Barometervacuum.

Versuch 10. Die Versuchsanstellung ist bereits oben beschrieben. Der im U-Rohr evacuirte Pfropf hatte die Gewichte und Volumina:

	Gewicht	Volumen
1. Vor dem Versuch . . .	2,91	2,9
2. Nach dem Versuch . .	2,89	2,9
3. Absolut trocken . . .	1,22	2,55

Das Röhrenvolumen pro Centimeter Länge betrug 0,53 ccm. Das U-Rohr war durch Drähte auf einem Cartonstückchen mit zwei Scalen befestigt, deren Haupttheilstriche — Centimeterstriche — von unten nach oben mit den Zahlen 0—30 bezeichnet waren. Das obere Ende des geschlossenen Rohres hatte bis zum Theilstrich

20 das Volumen 3,83 ccm
10 „ „ 9,14 „
0 „ „ 14,44 „

Das Resultat war folgendes:

Nr.	Tag	Stunde	t	p	a	a_1	p_1	v_1	τ_1	v_0
1	1	5^{2} N.	20,5	76,5	14,0	14,4	74,3	3,90	293,5	3,55
2	1	5^{10} N.	20,5	7,2	25,7	2,5	28,6	10,21	293,5	3,58
3	2	7^{45} V.	20,5	8,4	25,4	2,8	29,2	10,06	293,5	3,60
4	3	10 V.	21,5	9,4	25,3	2,9	29,9	10,00	294,5	3,65
5	4	9 V.	20,6	11,5	25,1	3,2	31,6	9,84	293,6	3,80
6	5	12^{45} V.	20,7	11,2	25,4	2,8	32,0	10,06	293,7	3,94
7	6	9^{30} V.	21,3	13,6	25,0	3,2	33,5	9,84	294,3	4,02
8	7	10 V.	22,0	12,5	25,4	2,7	33,2	10,11	295,0	4,09
9	8	8^{35} V.	22,0	12,4	25,5	2,6	33,3	10,16	295,0	4,12
10	9	7^{30} V.	22,8	12,9	25,5	2,6	33,7	10,16	295,8	4,16
11	10	10^{15} V.	24,4	13,9	25,6	2,5	34,7	10,21	297,4	4,28

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0460-8

Das ausgetretene Luftquantum beträgt $4{,}28 - 3{,}55$ . . $= 0{,}73$ ccm
Das Volumen nach dem Versuch war . . . . . $2{,}90$ ccm
Wandvolumen $= \frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gewicht}} = \frac{1{,}22}{1{,}55}$ . . . . . $= 0{,}79$ ccm
Wasservolumen = Feuchtgewicht $- \left\{ \begin{matrix} 2{,}89 \\ \text{Trockengewicht} \end{matrix} \right. - 1{,}22$ . . . . $= 1{,}67$ ccm
Wand- + Wasservolumen . . . . . $2{,}46$ ccm
Volumen der Lufträume . . . . . $0{,}44$ ccm

Versuch 11. Evacuirung im Barometerrohr. Das Barometerrohr war mit einer Centimeterscala versehen, der oberste Theilstrich war mit 0, der unterste mit 40 bezeichnet. Das Röhrenvolumen bis zum Theilstrich 12,0 betrug 10,80 ccm, bis zum Theilstrich 37,3 betrug es 30,92 ccm.

Der Röhrenquerschnitt war 0,80 qcm, die Höhe des Theilstrichs 40 über dem Quecksilberspiegel 63,37 cm. Für die Gewichte und Volumina wurde erhalten:

	Gewicht	Volumen
1. Vor dem Versuch . . .	2,91	2,7
2. Nach dem Versuch . .	2,86	2,7
3. Absolut trocken . . .	1,65	2,46

Das Ergebniss war das folgende:

Nr.	Tag	Stunde	t	d*	b	p_1	v_1	τ_1	v_0
1	1	1^{10} N.	20,0	30,13	76,5	1,6	22,60	293,0	0,44
2	2	7^{45} N.	20,5	30,38	76,6	1,8	22,80	293,5	0,50
3	3	10 V.	21,0	31,03	76,8	2,6	23,32	294,0	0,74
4	4	9 V.	20,6	31,63	76,6	3,1	23,80	293,6	0,90
5	5	12^{45} N.	20,7	32,03	76,7	3,6	24,12	293,7	1,06
6	6	9^{30} V.	21,3	32,43	76,6	3,8	24,44	294,3	1,13
7	7	10 V.	22,0	32,93	76,3	3,9	24,84	295,0	1,18
8	8	8^{35} V.	22,0	33,23	76,2	4,0	25,08	295,0	1,22
9	9	7^{30} V.	22,8	33,43	76,3	4,3	25,24	295,8	1,31
10	10	11^{15} V.	24,4	34,03	76,2	4,6	25,72	297,4	1,43
11	11	3^{30} N.	24,5	34,58	75,4	4,3	26,16	297,5	1,35
12	12	11^{30} V.	24,3	34,53	75,5	4,4	26,12	297,3	1,39

Das ausgetretene Luftquantum beträgt, da beim Einbringen des Pfropfes eine kleine Luftblase mit in die Barometerleere eintrat, nur $1{,}39 - 0{,}44 = 0{,}95$ ccm, und ist nicht gleich 1,39 zu setzen. Das bei diesem Versuch vor der ersten Ablesung ausgetretene Luftquantum

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0461-3

ist nach Versuch 10 sehr klein und kann deshalb vernachlässigt werden [1]).

Das Pfropfvolumen nach dem Versuch war . . . . . 2,70 ccm

$$\text{Wandvolumen} = \frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gewicht}} = \frac{1,65}{1,55} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad = 1,06 \text{ ccm}$$

$$\text{Wasservolumen} = \text{Feuchtgewicht} - \text{Trockengewicht} = 2,86 - 1,65 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad = 1,21 \text{ ccm}$$

Wand- + Wasservolumen . . . . . 2,27 ccm

Volumen der Lufträume . . . . . 0,43 ccm

Dass die ausgetretene Luftmenge bei diesem Versuch etwas grösser war, als beim vorigen, erklärt sich wohl hauptsächlich daraus, dass die Druckdifferenz eine grössere war.

II. Evacuirungsversuche mit trockenem Holz.

Analoge Versuche, wie mit feuchtem Holz, wurden mit trockenem gemacht. Eine kleine Versuchsreihe möge hier Platz finden.

Versuch 12. Ein lufttrockener Pfropf wurde bei 60° eine Reihe von Tagen getrocknet. Sein Gewicht betrug nach Verlauf dieser Zeit 2,87 g, sein Volumen 6,22 ccm. Die Evacuirung in der Luftpumpe dauerte 282 Stunden. Die Röhre, in die der Pfropf eingeschlossen wurde, hatte das Gesammtvolumen 27,30 ccm, den Querschnitt 0,977 qcm und ihr unterer Rand die Höhe 20,02 cm. Ergebniss:

Nr.	Tag	Stunde	t	s	b	p_1	v_1	τ_1	v_0
1	1	10^{15} V.	12,1	20,02	75,6	74,6	21,08	285,1	19,81
2	2	9^{15} V.	12,1	20,16	75,9	74,9	20,94	285,1	19,76
3	3	9^{35} V.	12,7	20,14	75,8	74,7	20,96	285,7	19,70
4	4	9^{30} V.	12,5	20,14	75,6	74,5	20,96	285,5	19,64
5	5	9^{15} V.	12,4	20,16	75,8	74,7	20,94	285,4	19,68
6	6	10^{30} V.	11,7	20,13	75,3	74,3	20,97	284,7	19,66
7	7	9 V.	10,9	20,23	75,2	74,2	20,87	283,9	19,60
8	8	8^{55} V.	10,8	20,31	75,4	74,4	20,80	283,8	19,60
9	9	9^{25} V.	11,6	20,21	75,2	74,2	20,89	284,6	19,56
10	10	10^{05} V.	11,8	20,23	75,6	74,6	20,87	284,8	19,63
11	11	9^{15} V.	12,0	20,41	76,0	75,0	20,70	285,0	19,55
12	12	8^{40} V.	12,0	20,41	76,0	75,0	20,70	285,0	19,55

Das Volumen der Hohlräume des Pfropfes nach dem Versuch war, wenn man seinen Wassergehalt vernachlässigt:

$$\text{Pfropfvolumen} - \text{Wandvolumen} = 6,22 - \frac{2,87}{1,55} = 4,37 \text{ ccm}$$

Dagegen ist das Volumen der eingetretenen Luft, das bei normalem

1) Einer näheren Erklärung bedarf die Grösse d*. d* ist der an der Röhrenscala abgelesene Quecksilberstand. Um daraus d zu finden, hat man d* von 40 zu subtrahiren und 63,37 zu addiren.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0462-9

Druck und der Temperatur 0° kaum 0,3 ccm beträgt, verschwindend klein. Andere Versuche dieser Art lieferten ein ähnliches Ergebniss.

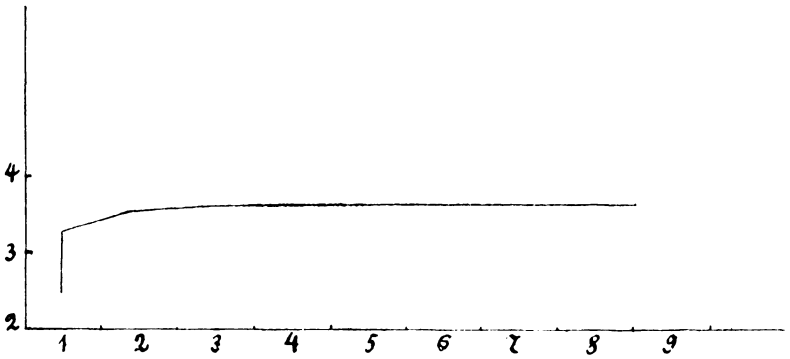


Fig. 5.

Versuch 13. Auch die Versuche mit dem U-Rohr wurden wiederholt. Ein lufttrockener[1]) Pfropf wurde ins U-Rohr eingeschlossen und der Versuch, wie oben beschrieben angestellt. Für die Gewichte und Volumina des Pfropfes ergab sich:

	Gewicht	Volumen
1. Vor dem Versuch . . .	1,99	3,50
2. Nach dem Versuch . .	1,99	3,50
3. Absolut trocken . . .	—	—

Das Volumen des geschlossenen Schenkels bis zum Theilstrich 20 betrug 5,82 ccm, bis zum Theilstrich 10 11,96 ccm, bis zum Theilstrich 0 18,10 ccm. Der mittlere Querschnitt war also 0,614 qcm. Ergebniss:

Nr.	Tag	Stunde	t	p	a	a_1	p_1	v_1	τ_1	v_0
1	1	11^{35} V.	22,7	76,8	19,0	11,7	69,5	2,9	295,7	2,45
2	1	11^{40} V.	22,7	11,1	7,1	22,4	26,4	10,24	295,7	3,28
3	2	8^{35} V.	21,6	11,1	6,7	22,8	27,2	10,49	294,6	3,48
4	2	8^{40} V.	21,6	5,65	5,0	24,3	24,95	11,53	294,6	3,50
5	3	9^{5} V.	21,9	5,00	4,6	24,7	25,1	11,77	294,9	3,60
6	4	9^{10} V.	21,3	5,00	4,6	24,7	25,1	11,77	294,3	3,60
7	6	8^{30} V.	20,4	4,90	4,55	24,75	25,1	11,81	293,4	3,63
8	7	8 V.	19,9	4,90	4,6	24,7	25,0	11,77	292,9	3,61
9	8	8^{50} V.	19,6	4,90	4,6	24,7	25,0	11,77	292,6	3,61
10	9	9^{30} V.	19,0	4,90	4,6	24,7	25,0	11,77	292,0	3,62
11	10	8^{45} V.	19,1	4,90	4,6	24,7	25,0	11,77	292,1	3,62

1) Ich trocknete den Pfropf nicht im Trockenschrank, um die Membranen nicht zu spröde und brüchig zu machen.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0463-5

Das Volumen der Hohlräume nach dem Versuch war, wenn der geringe Wassergehalt des Pfropfes unberücksichtigt gelassen wird:

$$\text{Gesammtvolumen} - \text{Wasservolumen} = 3{,}50 - \frac{1{,}98}{1{,}55} = 3{,}50 - 1{,}28 = 2{,}22 \text{ ccm.}$$

Das Volumen der ausgetretenen Luft unter den Normalbedingungen war 1,17 ccm.

Versuch 14. Die Evacuirung in der Barometerleere gestaltete sich folgendermaassen: Die Gewichte und Volumina des zum Versuch dienenden Pfropfes waren:

	Gewicht	Volumen
1. Vor dem Versuch . . .	1,88	3,3
2. Nach dem Versuch . .	1,88	3,3
3. Absolut trocken . . .	—	—[1])

Das Röhrenvolumen bis zum Theilstrich 24,5 cm war 17,31 ccm, bis zum Theilstrich 38,7 cm 28,74 ccm, der Querschnitt 0,80 qcm. Das Niveau des unteren Theilstriches lag 63,31 cm über dem Quecksilberspiegel.

Nr.	Tag	Stunde	t	d	b	p_1	v_1	τ_1	v_0
1	1	9^{30} V.	22,5	70,5	76,9	6,4	20,74	295,5	1,61
2	2	9 V.	21,9	69,4	76,8	7,4	21,65	294,9	1,95
3	3	9^{10} V.	21,3	68,7	76,4	7,7	22,16	294,3	2,08
4	5	8^{30} V.	20,4	68,4	76,1	7,7	22,41	293,4	2,11
5	6	8 V.	19,9	68,9	76,7	7,8	21,98	292,9	2,10
6	7	8^{50} V.	19,6	68,7	76,6	7,9	22,14	292,6	2,14

Da genau darauf geachtet wurde, dass bei der Einführung des Pfropfes keine Luftblasen mit aufstiegen, ergibt sich das ausgetretene Luftquantum zu 2,14 ccm. Das Volumen der Lufträume berechnet sich zu 2,1 ccm.

III. Druckversuche mit feuchtem Holz.

Versuch 15. Nach dem oben beschriebenen Verfahren wurden mehrere Druckversuche mit feuchtem Holz gemacht, von denen ich hier nur einen anführe, da das Resultat stets dasselbe war. Für die Gewichte und Volumina des Pfropfes ergaben sich:

	Gewicht	Volumen
1. Vor dem Versuch . . .	3,44	3,4
2. Nach dem Versuch . .	3,41	3,4
3. Absolut trocken . . .	1,50	3,1

1) Das Trockengewicht und Trockenvolumen wurde nicht bestimmt, da der Pfropf mikroskopisch untersucht wurde.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0464-1

Die Röhrenvolumina wurden aus einer Tabelle abgelesen, die nach den Resultaten der Auswägung der Röhre mit Wasser berechnet war. Ergebniss:

Nr.	Tag	Stunde	t	s[1])	d	b	p_1	v_1	τ_0	v_0
1	1	12^{20} N.	20,8	8,9	8,8	76,8	83,8	16,60	293,8	17,0
2	1	12^{20} N.	20,8	19,7	121,1	76,8	196,1	7,07	293,8	16,9
3	1	6^{15} V.	20,8	19,8	120,8	76,7	195,7	6,98	293,8	16,7
4	2	9 V.	20,6	19,9	120,4	76,6	195,2	6,89	293,8	16,4
5	3	12^{45} V.	20,7	20,1	120,2	76,7	195,1	6,71	293,7	16,0
6	4	9^{30} V.	21,3	20,2	120,0	76,6	194,7	6,62	294,3	15,7
7	5	10 V.	22,0	20,2	120,0	76,3	194,3	6,62	295,0	15,65

Eingetretenes Luftquantum — unter Normalbedingungen — 1,35 ccm. Das Volumen der Lufträume berechnet sich in folgender Weise:

Gesammtvolumen nach dem Versuch . . . . . 3,4 ccm

$\frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gewicht}} = \frac{1,50}{1,55}$ . . . . . $= 0,97$ ccm

Feuchtgewicht — Trockengewicht $= 3,41 - 1,50$ . . . $= 1,91$ ccm

Wand- + Wasservolumen . . . . . 2,88 ccm

Volumen der Lufträume . . . . . 0,5 ccm

Versuch 16. Der Pfropf wurde sofort nach diesem Versuch in der Spitze einer Röhre festgeklemmt, die Röhre wurde mit Wasser gefüllt, mit dem Finger verschlossen und mit dem unteren Ende in Wasser getaucht. Die Spitze oberhalb des Pfropfes war lufterfüllt. Gewichte und Volumina des Pfropfes:

	Gewicht	Volumen
1. Vor dem Versuch . . .	3,41	3,4
2. Nach dem Versuch . .	3,68	3,4
3. Absolut trocken . . .	1,50	3,1

Das Gesammtvolumen der Röhre war 22,12 ccm, der Röhrenquerschnitt 0,896 qcm. Der untere Röhrenrand hatte die Höhe 25,60 cm, die obere und untere Schnittfläche des Pfropfes die Höhen 50,14 und 43,75 cm, der Wasserspiegel im Gefäss wurde in der Höhe 30,51 cm erhalten. Ergebniss:

1) Mit s ist der Quecksilberstand im geschlossenen Schenkel bezeichnet; s wurde an einer Scala abgelesen, die am Röhrenende angebracht war.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0465-7

Nr.	Tag	Stunde	t	d	b	p_1	v_1	τ_1	v_0
1	1	4^{10} N.	24,5	19,13	75,3	71,6	0,31	297,5	0,27
2	2	11^{30} V.	24,3	18,40	75,5	71,8	0,57	297,3	0,49
3	3	9^{10} V.	24,5	18,35	75,8	72,1	0,59	297,5	0,51
4	4	12 V.	25,0	18,22	75,5	71,8	0,64	298,0	0,55
5	5	9^{10} V.	25,0	18,08	75,3	71,6	0,68	298,0	0,59
6	7	9^{40} V.	24,5	17,76	76,4	72,8	0,80	297,5	0,70
7	8	9 V.	23,5	17,61	76,5	73,0	0,85	296,5	0,75
8	9	9 V.	23,0	17,41	76,7	73,3	0,92	296,0	0,82
9	10	8^{30} V.	21,6	17,39	76,9	73,7	0,93	294,6	0,84
10	11	9 V.	21,9	17,29	76,8	73,5	0,97	294,9	0,87
11	12	9^{10} V.	21,3	17,32	76,4	73,2	0,95	294,3	0,85
12	14	8^{30} V.	20,4	17,19	76,1	73,0	1,00	293,4	0,89

Ausgetretenes Luftquantum 0,6 ccm.

IV. Druckversuch mit trockenem Holz.

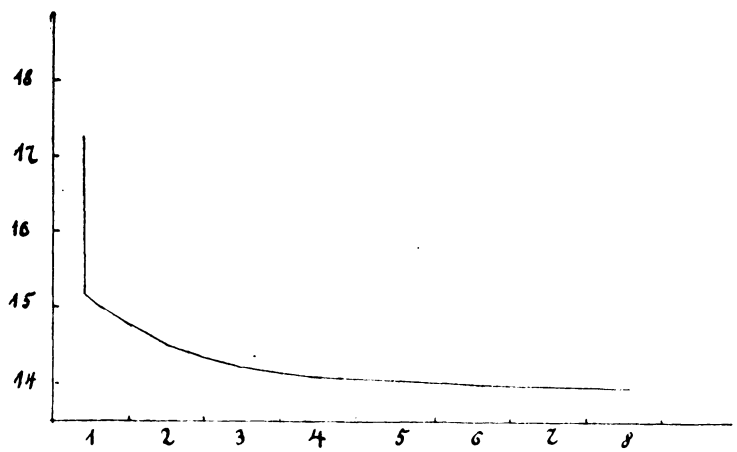


Fig. 6.

Versuch 17. Ein Pfropf, der mehr als acht Wochen an der Luft gelegen hatte, also völlig lufttrocken geworden war, wurde in das Compressionsrohr eingeschlossen. Die Röhrenvolumina wurden aus der oben erwähnten Tabelle abgelesen. Für die Gewichte und Volumina des Pfropfes ergaben sich folgende Werthe:

	Gewicht	Volumen
1. Vor dem Versuch . . .	1,94	3,39
2. Nach dem Versuch . .	1,94	3,39
3. Absolut trocken . . .	—	— [1])

1) Das Trockengewicht und Trockenvolumen wurde nicht bestimmt, da der Pfropf mikroskopisch untersucht wurde.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0466-2

Resultat des Versuchs:

Nr.	Tag	Stunde	t	s	d	b	p_1	v_1	τ_1	v_0
1	1	9^{15} V.	21,3	6,9	0,7	76,4	77,1	18,32	294,3	17,24
2	1	9^{20} V.	21,3	20,85	128,9	76,4	205,3	6,05	294,3	15,16
3	3	8^{30} V.	20,4	21,25	128,0	76,1	204,1	5,69	293,4	14,22
4	4	8 V.	19,9	21,3	127,85	76,7	204,55	5,64	292,9	14,15
5	5	8^{50} V.	19,6	21,35	127,8	76,6	204,4	5,60	292,6	14,05
6	6	9^{30} V.	19,0	21,35	127,8	76,0	203,8	5,60	292,0	14,04
7	7	8^{45} V.	19,1	21,3	126,8	76,0	202,8	5,64	292,1	14,07

Eingetretenes Luftquantum — unter normalen Bedingungen gemessen — 3,17 ccm

Gesammtvolumen nach dem Versuch . . . . . 3,39 ccm

Wandvolumen $= \frac{1,94}{1,55}$ . . . . . $= 1,25$ ccm

Wasservolumen (klein, daher vernachlässigt)

Volumen der Lufträume . . . . . 2,14 ccm

Andere Versuche dieser Art ergaben ähnliche Resultate. Es hätte deshalb keinen Zweck, die ohnehin schon lange Reihe von Tabellen noch zu verlängern.

3. Resultate.

Auf Grund des vorliegenden experimentellen Materials soll nun zunächst die Beantwortung der Frage versucht werden, ob die feuchten Membranen durchlässiger sind als die trocknen oder nicht.

Schon in der Einleitung wurde darauf hingewiesen, dass von Lietzmann[1]) das erstere, von Wiesner,[2]) Strasburger[3]) und Drude[4]) das letztere behauptet wird. Die Meinungsverschiedenheiten rühren, wie ich gleich zeigen werde, nur daher, dass die Autoren sich nicht genügende Sicherheit verschafften, ob in jedem Falle die Luft, deren Austritt sie beobachteten, auch wirklich in normaler Weise Membranen passirt hatte. Vor dieser Fehlerquelle, die völlig überhaupt nicht zu vermeiden ist, kann man sich nur dann bis zu einem gewissen Grade schützen, wenn man den Weg der ein- und austretenden Luft zu ermitteln sucht und ihr Quantum möglichst genau misst. Stellt man die Messungsresultate graphisch dar, indem man etwa die Zeiten als Abscissen, die Luftmengen als Ordinaten aufträgt,

1) Lietzmann, Flora Bd. 70 pag. 376.

2) Wiesner, Versuche über den Ausgleich u. s. w. Bd. 79 der Ber. der Wiener Acad.

3) Strasburger, Leitungsbahnen pag. 728.

4) Drude, Civilingenieur 1889. Studien u. s. w. Sp. 41.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0467-8

dann muss der Natur der Sache nach die entstehende Curve stetig sein, d. h. es müssen zu kleinen Abscissenänderungen nicht unverhältnissmässig grosse Ordinatenänderungen gehören. Treten aber Unstetigkeiten auf, so ist das ein Hinweis auf Unregelmässigkeiten.

Störend wirkt bei diesen Messungen die Eigenschaft des Holzes, Luft in beträchtlichen Quantitäten auch dann aufzunehmen, wenn es nicht evacuirt ist. Auf diese Eigenthümlichkeit bin ich nur dadurch aufmerksam geworden, dass ich das vom Pfropf aufgenommene Luftvolumen mit dem Volumen der Hohlräume verglich, wobei sich jedesmal bei feuchten, evacuirten Pfropfen ein Ueberschuss des aufgenommenen Luftvolumens über das Volumen der Hohlräume herausstellte.

Die Resultate werden auch dadurch getrübt, dass man nicht im Stande ist, während des Versuches den Feuchtigkeitsgehalt der Membranen constant zu halten. Die Werthe, die man für das ein- und ausgetretene Luftvolumen erhält, gelten also immer nur für einen schwankenden Feuchtigkeitsgehalt. Die Schwankungen liegen zwar, wenn man mit einer gut schliessenden Luftpumpe arbeitet, also nur einmal auszupumpen braucht, in engen Grenzen, aber sie sind doch besonders dann sehr hinderlich, wenn man Parallelversuche mit evacuirten und nichtevacuirten Pfropfen anstellen will. Der eine von zwei von demselben Ast stammenden Pfropfen wird sofort ins Rohr eingeschlossen, während der andere erst in der Luftpumpe evacuirt und dann zum Versuch verwandt wird. Mit der Evacuirung ist eine Feuchtigkeitsabnahme verbunden, die zur Folge hat, dass die erhaltenen Resultate nicht völlig vergleichbar sind.

Um eine bestimmte Annahme zu machen, werde ich den Feuchtigkeitsgehalt am Ende des Versuches als den maassgebenden ansehen; der Fehler, den man dann begeht, ist verhältnissmässig klein. Betrachten wir die Versuche 1—4, so zeigt sich Folgendes. Die Pfropfvolumina, die Feuchtigkeitsgehalte und die aufgenommenen Luftvolumina (letztere unter normalen Bedingungen gemessen) sind

beim Versuch	Volumen	Feuchtigkeitsgehalt	Luftquantum
1	7,0 ccm	1,54 g	2,2 ccm
2	6,05 ccm	3,65 g	3,95 ccm
3	5,63 ccm	3,56 g	3,52 ccm
4	6,6 ccm	3,69 g	2,97 ccm

Diese Werthe sind ohne Weiteres nicht vergleichbar. Rechnet man sie aber auf die Volumeneinheit um, so ergibt sich:

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0468-4

Versuch	Feuchtigkeitsgehalt	Luftquantum
1	0,22 g	0,31 ccm
2	0,60 g	0,65 ccm
3	0,63 g	0,63 ccm
4	0,56 g	0,45 ccm

Es ist also klar ersichtlich, dass die Menge der im Verlauf einer bestimmten Zeit aufgenommenen Luft mit fallendem Feuchtigkeitsgehalt abnimmt. Ob man aber daraus schliessen darf, dass dasselbe mit der Permeabilität der Fall ist, ist eine andere Frage. Lietzmann[1]) bejaht sie; er musste das consequenterweise thun, weil ihm die Erscheinung, dass ein Holzstück, ohne evacuirt zu sein, Luft aufnimmt, vollkommen entgangen war. Es wäre aber die Möglichkeit nicht von der Hand zu weisen, dass die Luft auf der Oberfläche des Pfropfes verdichtet wird, also keine Membranen passirt. Ob diese Auffassung berechtigt ist, lässt sich durch mikroskopische Untersuchung prüfen. Man bringt zwei Pfropfe, einen evacuirten und einen nichtevacuirten, in ein grösseres Gefäss mit Wasser, lässt sie einige Zeit liegen und stellt dann unter Wasser Längsschnitte her. Wenn beim Evacuiren Luft aus dem Zellinnern verschwunden ist, muss dafür, da die Membranen für Wasser leicht permeabel sind, natürlich Wasser eintreten. Es zeigt sich, dass im evacuirten Pfropf die Luftblasen sehr klein oder fast verschwunden sind, während die des nichtevacuirten eine bedeutende Grösse haben. Die Luft passirt also wenigstens theilweise die Wände. Auch die Beobachtung Böhm's, dass Gase, wie Kohlensäure, Sauerstoff und Wasserstoff in trockenes Holz eindringen, stimmt damit überein. Es darf also schon nach diesen Versuchen als feststehend gelten, dass die feuchten Membranen durchlässiger sind als die trockenen. In scheinbarem Widerspruch mit diesem Ergebniss stehen die Resultate der übrigen Evacuirungsversuche. Aus dem feuchten Pfropf traten, als er dem Versuch im U-Rohr unterworfen wurde, 0,73 ccm Luft aus, während das Gesammtvolumen 2,9 ccm und das Volumen der Lufträume 0,44 ccm betrug, aus dem trockenen dagegen 1,17 ccm bei einem Gesammtvolumen von 3,5 ccm und einem Luftraumvolumen von 2,22 ccm. Um zu einer richtigen Deutung dieser Ergebnisse zu gelangen, muss man sich zunächst vergegenwärtigen, dass, wenn wir die Annahme machen, die in den Hohlräumen enthaltene Luft sei von normaler Spannung, im trockenen Pfropf 2,22 ccm Luft vorhanden sind, im feuchten dagegen

1) Lietzmann, Flora Jahrg. 70 pag. 360 ff.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0469-2

nur 0,44 ccm, ferner, dass der trockene Pfropf Gelegenheit gehabt hat, sich mit Luft zu sättigen, der feuchte dagegen nicht. Schon diese beiden Thatsachen würden hinreichen, das Austreten einer grösseren Luftmenge aus dem trockenen Pfropf plausibel zu machen, selbst wenn die trockene Membran weniger permeabel wäre als die feuchte. Indessen kommt noch ein dritter Punkt hinzu. Stellt man die Ergebnisse beider Versuche graphisch dar, so fällt einem sofort auf, dass die Curve, welche den Verlauf des Luftaustrittes aus dem trockenen Pfropf veranschaulicht, anfangs senkrecht aufsteigt, während das bei der Curve für den feuchten Pfropf nicht der Fall ist. Eine so grosse Permeabilität der trockenen Membran kam mir so wenig wahrscheinlich vor, zumal da die Curve in ihrem weiteren Verlauf fast parallel zur Abscissenachse wurde, dass ich mich veranlasst sah, mir über den Weg der austretenden Luft Aufklärung zu verschaffen. Wider Erwarten gelang mir das sofort. Schon am ersten Schnitt, einem tangentialen, sah ich, dass die dünnen Lamellen, durch die die Communication der lebenden Markstrahlzellen mit den anstossenden Tracheïden stattfindet, eingedrückt und zum Theil zerrissen waren. Der Druckausgleich findet bei trockenem Holz offenbar durch Vermittelung der Markstrahlen statt. Wird aus einer angeschnittenen Markstrahlzelle die Luft entfernt, so hat die Luft der angrenzenden Tracheïden das Bestreben, das gestörte Gleichgewicht wieder herzustellen. Die Folge davon ist das Eingedrücktwerden der Markstrahlzellmembran nach dem Lumen zu, das bei trockenen Membranen natürlich weit leichter mit einem Einbrechen der Wandsubstanz verbunden ist, als bei feuchten. Hat Rissbildung stattgefunden, so verliert auch die Tracheïde ihre Luft; dadurch wird eine zweite oberhalb oder unterhalb der ersten an die Tracheïde anstossende Markstrahlzelle in Mitleidenschaft gezogen. Die in ihr enthaltene Luft dehnt sich aus, treibt die Membran blasig auf und zerreisst sie, wenn der Druck stark genug ist. Dasselbe Spiel wiederholt sich, bis das Gleichgewicht hergestellt ist. Beim feuchten, frisch geschnittenen Pfropf sind die durch einseitig behöfte Tüpfel mit den Tracheïden in Verbindung stehenden Markstrahlzellen mit lebendem Inhalt erfüllt. Daher wird, selbst wenn von einer Tracheïde — etwa einer angeschnittenen — her ein Druck wirkt, eine Zerreissung der Membran nicht so leicht eintreten können, da der Zellinhalt als Widerlager wirkt. Durch Saugwirkung von der Seite der Tracheïde her können ebenfalls die Markstrahlzellen nicht zerrissen werden, da sich in ihnen keine ausdehnungsfähige Luft befindet.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0470-3

Der mikroskopische Befund deckt sich durchaus mit diesen Ueberlegungen. In trockenen Pfropfen sind eingedrückte, blasig aufgetriebene und zerrissene Wände sehr häufig. Wenn die Druckdifferenz genügend gesteigert wird, bleibt kaum ein Markstrahl intact. Dagegen im feuchten Pfropf sind Verbiegungen der oben genannten Wandstellen nicht oder kaum zu finden. Zerreissungen sind so selten, dass ich nicht mit Bestimmtheit behaupten möchte, sie seien eine Folge des Druckes oder der Saugung.

Das zwischen der ersten und zweiten Ablesung aus dem trockenen Pfropf austretende Luftquantum — 0,83 ccm — passirt also die Membranen erst dann, wenn sie zerrissen sind, kann also für unsere Frage nicht in Betracht kommen. Wenn man von dieser Luftmenge völlig absieht, überwiegt trotzdem noch das Luftquantum im trockenen Pfropf über das im feuchten. Ausserdem ist der trockene Pfropf luftgesättigt, während das beim feuchten Pfropf nur theilweise der Fall ist. Der trockene Pfropf kann also mehr Luft abgeben als der feuchte. Wenn trotzdem das aus dem feuchten Pfropf austretende Luftquantum grösser ist, als das, welches sich aus dem trockenen herauspumpen lässt, so darf man sicher annehmen, dass die feuchten Membranen permeabler sind als die trockenen.

Genau denselben Schluss ziehe ich aus den Versuchen 11 und 14. Beim Versuch 11 war das Volumen der Binnenlufträume 0,43 ccm, das ausgetretene Luftquantum 0,95 ccm; beim Versuch 14 beliefen sich die Werthe auf 2,1 und 2,14 ccm. Von den 2,14 ccm traten nach der ersten Ablesung 2,14 — 1,61 = 0,53 ccm aus gegen 0,95 ccm beim Versuch 11, während das Volumen der luftführenden Räume in beiden Fällen annähernd dasselbe war.

Beim Versuch 12 entzieht sich das Luftquantum, welches während der Ueberführung des Pfropfes aus dem luftverdünntem Raum in das Versuchsrohr durch die zerrissenen Wände in die Hohlräume eintritt, der Messung. So erklärt sich ganz ungezwungen die geringe vom Pfropf noch aufgenommene Luftmenge von 0,3 ccm, die mit der nach der zweiten Ablesung vom Pfropf des Versuches 13 abgegebenen — 0,34 ccm —, wenn man die näheren Umstände in Betracht zieht, ganz befriedigend übereinstimmt.

An dieser Stelle mag auf die Versuche Strasburger's[1]) mit einigen Worten eingegangen werden. Seine Beobachtungen halte ich für vollkommen correct. Nach meinen Erfahrungen ist es mir sogar

1) Strasburger, Leitungsbahnen pag. 726—729.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0471-9

wahrscheinlich, dass trockene Pfropfe weit mehr Luft austreten liessen als feuchte. Was aber die Deutung der Versuche betrifft, so bin ich darin anderer Ansicht.

Strasburger experimentirte z. B. in einem Fall mit einem Stück Ahornast, das in Alcohol gelegt, nach 8 Tagen aus demselben herausgenommen und in einem geschlossenen Raum langsam getrocknet wurde. Als es lufttrocken geworden war, wurde es dem Versuch unterworfen. Die Methode ist im Princip die folgende: Die Gefässe des verwendeten Ahornastes werden auf einem Ende geschlossen und vom andern Ende aus evacuirt, während die Oberfläche des Aststückes der atmosphärischen Luft ausgesetzt ist. Die Luft müsste also, wenn sie in die Gefässe eindringen wollte, mindestens eine Gefässwand passiren. Ueber das Resultat sagt Strasburger selbst: „Aus diesen Versuchen ging ganz unzweideutig hervor, dass die Luft leichter durch die trockene als durch die imbibirte Gefässwandung bei Ahorn sich bewegt." Versuche mit einem Stück Eichenzweig, das ebenso behandelt war, wie auch mit Ahorn- und Birkenholz, das nicht in Alcohol gelegen hatte, sondern durch sechswöchentliches Liegen an der Luft getrocknet war, lieferten im Wesentlichen dasselbe Ergebniss.

Nach meiner Meinung verläuft der Prozess so: Sobald die Luft aus den Gefässen verschwindet, dehnt sich die in den ausgetrockneten Markstrahlzellen eingeschlossene Luft aus und zerreisst die Tüpfelmembranen, falls nicht schon beim Trocknen, wobei sich die Membranen stark in Falten legen und unregelmässig biegen, Rissbildung stattgefunden hat, was ich nicht für ausgeschlossen halte. Einige weitere Zerreissungen schaffen dann die Verbindung mit der Astoberfläche, genau so, wie ich das für das Kiefernholz gezeigt habe. Ist eine bestimmte Anzahl solcher offenen Verbindungswege in den äusseren Schichten des Holzes hergestellt, so ist, falls nur die Saugung dieselbe bleibt, kein Grund vorhanden, dass sich neue bilden. Es ist daher sehr leicht erklärlich, dass Bromdämpfe, denen man den Zutritt zur Astoberfläche gestattet, nur in den äusseren Holzpartieen färbend wirken. Dass sich nur die Gefässe, nicht die Holzfasern färbten, steht in voller Uebereinstimmung mit meiner oben vorgetragenen Ansicht. Leider finde ich bei Strasburger keine Angaben darüber, ob sich bei trocknen Pfropfen auch die Markstrahlen durch das Brom bräunten. Da bei feuchten Pfropfen Zerreissungen, wie ich sie eben geschildert habe, nicht oder höchstens in sehr geringem Umfange vorkommen, so halte ich den Schluss, den Strasburger aus seinen Beobachtungen zieht, nicht für gerechtfertigt.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0472-5

In den Experimenten, auf die Wiesner seine Behauptung, die trockene Pflanzenmembran sei luftdurchlässiger als die feuchte, zu stützen suchte, ist bereits von Lietzmann[1]) eine Fehlerquelle nachgewiesen. Ich kann also diese Versuche hier übergehen, umsomehr, als Wiesner in einer zweiten Arbeit[2]), die er mit Molisch zusammen veröffentlichte, ausdrücklich sagt: „Dass die verholzte Zellmembran insofern wie alle übrigen von uns untersuchten Zellhäute sich verhält, als sie Gase diffundiren lässt, geht aus den Versuchen von Böhm[3]) hervor, welcher zeigt, dass in das trockene Splintholz von Fichten- und Robinienholz Gase (CO_2, H, O) eindringen und in den Zellhöhlen verdichtet werden."

Betrachten wir noch die Compressionsversuche, die Versuche 15 und 17. In den feuchten Pfropf traten 1,35 ccm Luft, während das Luftraumvolumen 0,5 ccm betrug; das in den trocknen Pfropf hineingepresste Luftquantum war dagegen 3,17 ccm, wovon 2,08 ccm in der Zeit zwischen der ersten und zweiten Ablesung eintraten. Diese 2,08 ccm von Normalspannung nahmen bei dem herrschenden Druck von ca. 200 ccm Quecksilber das Volumen von ungefähr 0,75 ccm ein. Subtrahirt man diese 0,75 ccm vom Gesammtvolumen der Hohlräume, das 2,14 ccm beträgt, so bleibt im trockenen Pfropf immer noch ein grösseres Hohlraumvolumen übrig als im feuchten. Trotzdem nimmt der feuchte Pfropf in derselben Zeit etwa $^1/_4$ ccm Luft von Normalspannung mehr auf als der trockene. Dabei ist allerdings zweierlei zu berücksichtigen: Ein Teil der vom feuchten Pfropf aufgenommenen Luft könnte absorbirt und nicht infolge von Druckdifferenzen eingetreten sein; andrerseits ist nicht ausgeschlossen, dass ein gewisses Quantum der in den trockenen Pfropf eindringenden Luft seinen Weg durch Risse genommen hat. Das letztere ist nach den Ergebnissen der Versuche 10, 13 und 11 und 14 sogar sehr wahrscheinlich. Welche Menge die grössere ist, lässt sich nicht entscheiden; die Versuche geben also zwar keine exacte Antwort, stehen aber auch mit den oben erhaltenen Resultaten in keinem Widerspruch.

Wenden wir uns jetzt zur Beantwortung der Frage, wie lange es etwa dauert, bis die durch Transpiration in Zweigen belaubter Bäume entstandenen Luftverdünnungen bis zu einem bestimmten Grade ausgeglichen sind.

---

1) Lietzmann, Flora Jahrgang 70 pag. 380—385.

2) Wiesner u. Molisch, Sitzungsber. der Kaiserl. Acad. der Wissensch. Bd. 98. pag. 700—701.

3) Böhm, Botan. Zeitung 1883 pag. 521.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0473-1

Um genauen Aufschluss über die Geschwindigkeit des Durchtritts der Luft zu bekommen, hätte man die auf die Flächen-, Druck- und Zeiteinheit reducirte durchgetretene Luftmenge zu messen. Das ist aber aus mehrfachen Gründen nicht ausführbar, denn einmal ist eine auch nur angenäherte Bestimmung der Grösse der Fläche, welche die Luft durchdringt, unmöglich, andrerseits ist man nur mangelhaft im Stande, über die Druckverhältnisse sich jederzeit zu orientiren. Schwierigkeiten stehen endlich auch der Messung des Volumens der durchgetretenen Luft entgegen, da schon oben nachgewiesen wurde, dass die aufgenommene Luft nur zum Theil Wände passirt. Dabei ist von Fehlerquellen von geringerem Einfluss, die in der Abnahme des Feuchtigkeitsgehaltes der Wände und in der Thatsache gefunden werden könnten, dass mit unberindeten Zweigen gearbeitet wurde, hier ganz abgesehen.

Dieser allein sichere Resultate garantirende Weg war also von vornherein ausgeschlossen. Um aber doch wenigstens eine annähernde Vorstellung über den Verlauf des Druckausgleichs zu bekommen, verfuhr ich so: Aus einem 10—12 cm langen Stück eines Kiefernastes schnitt ich zwei cylindrische Pfropfe. Den einen schloss ich, um das von ihm aufgenommene Luftquantum zu messen, in eine oben zugeschmolzene Röhre ein, die mit ihrem unteren Ende in Eosinwasser tauchte. Der andere wurde evacuirt und dann ebenso behandelt. Das von ihm mehr aufgenommene Luftquantum musste, da die übrigen Bedingungen die gleichen waren, in Folge der Evacuirung aufgenommen sein. Indessen bleibt die Entscheidung der Frage unsicher, wieviel von dieser mehr aufgenommenen Luft zum Ausgleich der Druckdifferenz dient, denn bei der Evacuirung verliert natürlich der Pfropf nicht bloss die in den Binnenräumen enthaltene Luft, sondern auch einen Theil derjenigen Luft, die er schon vor der Evacuirung auf seiner Oberfläche und im Innern der Zellen verdichtet hatte und für die nach der Evacuirung Ersatz geschaffen wird. Werden die aufgenommenen Luftquanta auf gleiches Pfropfvolumen umgerechnet, so gestattet also die beobachtete Differenz in Verbindung mit dem bekannten Hohlraumvolumen des evacuirten Pfropfes erst dann annähernd zu sagen, dass nach Verlauf einer gewissen Zeit ein bestimmter Theil der Druckdifferenz ausgeglichen ist, wenn man das Verhältniss der zum Druckausgleich dienenden Luftmenge zur gesammten aufgenommenen Menge kennt.

Betrachten wir die Versuche 4 und 5. Stellt man die Ergebnisse graphisch dar, indem man die Zeiten als Abscissen, die Volumina (unter Normalbedingungen gemessen) als Ordinaten in ein rechtwinkliges

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0474-6

Coordinatensystem einträgt, so ergibt sich die folgende Zeichnung (Fig. 7)[1]), in der die Curve I für den nicht evacuirten, die Curve II für den evacuirten Pfropf gilt. Die Versuchsergebnisse sind nicht ohne Weiteres vergleichbar, da der nicht evacuirte Pfropf das Volumen 6,89 ccm hatte, der evacuirte dagegen nur 6,05 ccm gross war.

Macht man die Annahme, die Aufnahmefähigkeit des Pfropfes für Luft wachse proportional dem Volumen, so müsste man, wenn man das Volumen 6,89 ccm als Einheit zu Grunde legt, sämmtliche für den evacuirten Pfropf berechneten Luftvolumina im Verhältniss 6,05 : 6,89 vergrössern, d. h. die sämmtlichen Ordinaten von der Horizontalen AB ab nach unten im nämlichen Verhältniss verlängern, so dass aus der Curve II die Curve III entsteht.

Nimmt man ferner an, die Hälfte der aufgenommenen Luft diene zum Ausgleich der Druckdifferenz, was in diesem Fall vielleicht zu-

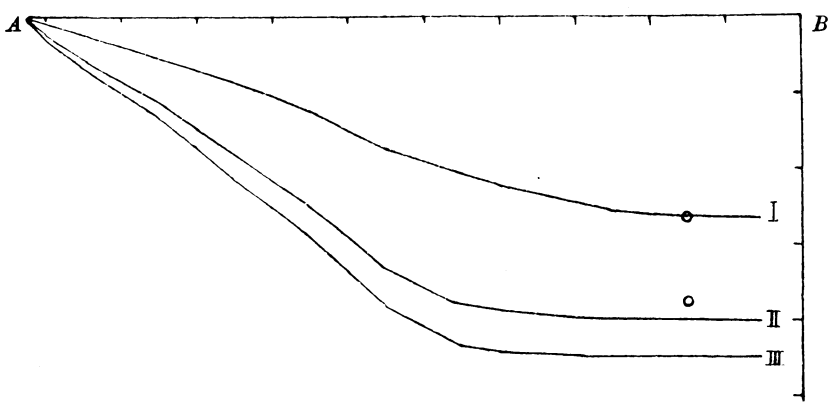


Fig. 7.

trifft, da das vom evacuirten Pfropf mehr aufgenommene Luftvolumen — 1,8 ccm (unter Normalbedingungen) — weniger als das Doppelte des Volumens der Binnenräume beträgt, das sich zu 1,1 ccm berechnet, so ist nach einem Tage etwa $^1/_4$ der Druckdifferenz ausgeglichen, da dann 0,6 ccm Luft vom evacuirten Pfropf mehr aufgenommen sind, von denen wir die Hälfte als zum Druckausgleich dienend annahmen. Dabei ist vorausgesetzt, dass die Druckdifferenz in der Natur ungefähr denselben Werth erreicht wie beim Versuch. Denn wäre sie kleiner, so würde nothwendig auch das durchgetretene Luftquantum kleiner ausfallen.

1) Die Anfangspunkte der Curven sind durch Verschiebung parallel den Coordinaten-Achsen zum Zusammenfalten gebracht, um einen bequemen Vergleich zu gestatten.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0475-2

Macht man für den in Fig. 8 veranschaulichten Versuch dieselben Annahmen, so zeigt sich, dass der evacuirte Pfropf 4—5 Mal so viel Luft mehr aufnimmt, als das Volumen seiner Binnenlufträume — 0,5 ccm — beträgt. Eine Druckerhöhung der Binnenluft um $^1/_4$ würde also erst nach Verlauf von $1^1/_2-2$ Tagen eintreten. Bemerken will ich, dass die erhaltenen Werte von 1 und $1^1/_2-2$ Tagen jedenfalls eher zu hoch als zu niedrig sind. Die Resultate der übrigen Versuche schwanken zwischen diesen Grenzen. Es braucht nach dem Vorhergehenden nicht betont zu werden, dass die erhaltenen Werte auf Genauigkeit keinen Anspruch machen können, aber sie sind doch insofern interessant als sie zeigen, dass stark luftverdünnte Räume nur kurze Zeit bestehen können. Messungen, die ich angestellt habe,

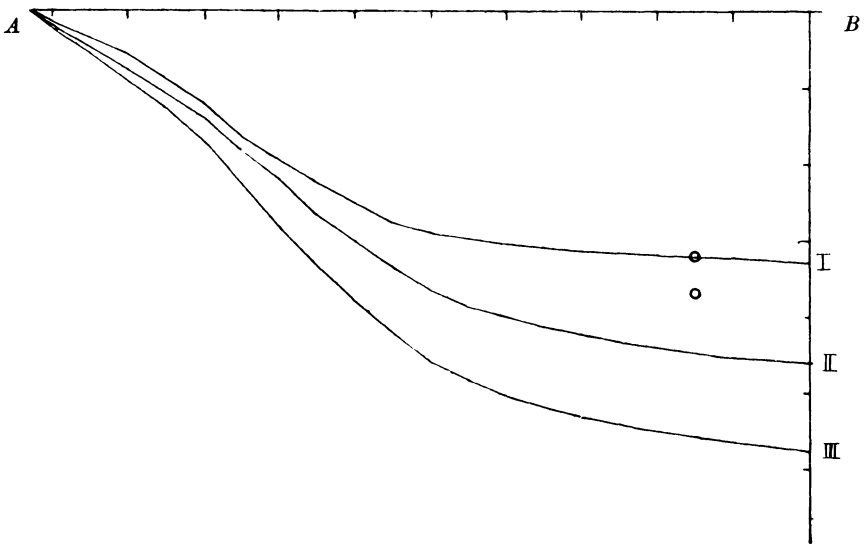


Fig. 8.

bestätigen das. Welche Folgerungen sich daraus für die Theorie des Saftsteigens ergeben, ist bereits von Schwendener[1]) ausführlich erörtert.

4. Bestimmung der Luftverdünnung in transpirirenden Zweigen.

Die eben erwähnten Messungen des Luftdrucks lasse ich hier folgen. Das Vorkommen von Luftverdünnungen in der Pflanze ist

1) Schwendener, Weitere Ausführungen über die durch Saugung bewirkte Wasserbewegung in der Jamin'schen Kette. Sitzungsberichte der Berl. Acad. der Wissensch. 1893 pag. 835—846 u. Ges. Bot. Mittheilungen Bd. I pag. 298—315.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0476-8

bereits seit langer Zeit bekannt. Schon Experimente von Hales[1]) lassen darauf schliessen, doch geben seine Versuche keine Klarheit darüber, ob die Luft in den Gefässen oder im Intercellularsystem verdünnt ist. Der erste, dem es gelang, den exacten Nachweis zu erbringen, dass sehr bedeutende Luftverdünnungen in den Gefässen vorkommen, war von Höhnel[2]). Er schnitt zu einer Zeit, wo die Pflanzen stark transpirirten, Zweige unter Quecksilber ab und fand, dass sich die Gefässe zum grossen Teil viele Centimeter weit mit Quecksilber füllten. Daraus geht die Existenz eines starken negativen Luftdrucks klar hervor[3]), zumal wenn man bedenkt, dass die Capillardepression bei der geringen Weite der Gefässe eine ganz bedeutende ist. Einen quantitativen Schluss lassen jedoch die Versuche von Höhnel nicht zu, da es nicht bloss von der Grösse der Luftverdünnung abhängt, wie viel Quecksilber aufgenommen wird, sondern ausserdem vom Volumen der contractionsfähigen Luft und der Länge der Gefässe. Schwendener[4]) wandte daher eine andere Methode an, bei der die Volumabnahme der Luftblasen beim Anschneiden der Gefässe gemessen wurde. Die zum Versuch bestimmten Zweige wurden in einen Kasten mit Quecksilber oder Petroleum, das mit Thierkohle gefärbt war, um die eingedrungene Flüssigkeit leichter sichtbar zu machen, hineingebogen und entweder mit der Doppelscheere oder einem eigens construirten Apparat abgeschnitten. Auf Längsschnitten wurde festgestellt, wie weit die geschwärzte Flüssigkeit eingedrungen war und wie viele Luftblasen sich in einem von einem zum andern Ende verlaufenden Gefäss befanden. Um zu zeigen, wie die Berechnung angestellt wurde, theile ich ein Beispiel[5]) hier mit. Ein Zweigstück von Acer platanoides war 15 mm lang, die eingedrungene Quecksilbersäule 7 mm; es hatte also eine Verkürzung der Luftwasserkette von 15 auf 8 mm stattgefunden. Von diesen 8 mm kamen auf Luft und Wasser ungefähr gleich viel, also je 4 mm. Die ursprüngliche Länge der Luftblasen verhält sich demnach zur Länge bei Normalspannung, vorausgesetzt, dass der Luftdruck 76 cm Quecksilber beträgt, wie 7 + 4 zu 4.

---

1) Hales, Statik der Gewächse, 1748 pag. 90.

2) von Höhnel, Ueber den negativen Druck der Gefässluft. Dissert. 1876.

3) Die Annahme Scheits, dass die Gefässe luftleer seien, kann ich wohl hier übergehen. Vergl. Schwendener.

4) Schwendener, Weitere Ausführungen über die durch Saugung bewirkte Wasserbewegung in der Jamin'schen Kette. Sitzungsber. d. Berl. Acad. d. Wiss. 1893 pag. 835—846; Ges. Mittheil. Bd. I pag. 298—315.

5) Schwendener, Ges. botan. Mittheilungen Bd. I pag. 306.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0477-4

Die Spannung der Gefässluft war also $\frac{4}{11}$ des zur Zeit des Versuchs herrschenden Luftdrucks. Aehnliche Resultate ergaben auch die übrigen Versuche. Die niedrigste auf diesem Wege gemessene Spannung war $^1/_4$ des Atmosphärendrucks. Wie Schwendener selbst hervorhebt, sind die Resultate nur als annähernde zu betrachten, da es schwer ist, ein und dasselbe Gefäss durch den ganzen Längsschnitt hindurch zu verfolgen und die Länge der einzelnen Luft- und Wasserglieder zu messen.

Auf demselben Grundgedanken, wie die eben geschilderte Methode beruht die von Pappenheim[1]) und auch die von mir angewandte. Pappenheim setzte Cylinder von Coniferenholz von bestimmtem Frischgewicht in Wasser einem Ueberdruck aus, der das Doppelte des herrschenden Luftdruckes betrug. Dadurch trat zunächst ein unbestimmbares Quantum Wasser in den Pfropf ein und verringerte das Volumen der im Holz befindlichen Luft. Die nach Aufhebung des Druckes wieder austretende Wassermenge a wurde gemessen und ausserdem das Gewicht des Pfropfes bestimmt, wobei sich ergab, dass der Pfropf ein gewisses Wasserquantum e zurückbehalten hatte. Diese Daten genügen zur Bestimmung der Holzluftspannung, wenn noch der Barometerstand b bekannt ist. Denn um die Menge der Binnenluft, die bei dem herrschenden Luftdruck gemessen v sein möge, auf $^1/_3$ ihres Volumens zusammenzupressen, war die Wassermenge a nöthig. Sie musste also das Volumen $\frac{2}{3}$ v einnehmen; v war daher gleich $\frac{3}{2}$ a. Vor Beginn des Versuches war aber das Volumen der Binnenluft offenbar grösser und zwar genau um das Volumen der oben mit e bezeichneten Wassermenge, die der Pfropf nach Aufhören des Druckes nicht wieder abgab. Da sich nun nach dem Boyle-Mariotte'schen Gesetz die Volumina umgekehrt wie die Drucke verhalten, so ist, wenn man mit x die zu suchende Spannung bezeichnet:

$$\frac{x}{b} = \frac{v}{v + c} \quad \text{oder} \quad x = \frac{b\,v}{v + c}.$$

Die Methode ist aus leicht ersichtlichen Gründen nur anwendbar für Holz, das aus allseitig geschlossenen Tracheïden besteht.

Um auch für gefässführende Hölzer eine Bestimmung auszuführen, schlug ich den im Folgenden zu schildernden Weg ein. Von zwei möglichst gleichen, etwa 2—4 Jahre alten Zweigen, die an demselben

1) Pappenheim, Bot. Centralbl. Bd. 59 1892 S. 1 ff: Eine Methode zur Bestimmung der Gasspannung im Splinte der Nadelhölzer. Schilderung der Methode auf S. 35

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0478-0

Ast sassen und, was die Bestrahlung durch die Sonne anlangt, möglichst gleiche Lage hatten, wurde der eine unter Wasser, der andere in Luft an zwei Stellen gleichzeitig durchschnitten. Ich benutzte dazu den in Fig. 9 abgebildeten Apparat, der in allen wesentlichen Punkten mit dem von Schwendener beschriebenen übereinstimmt.

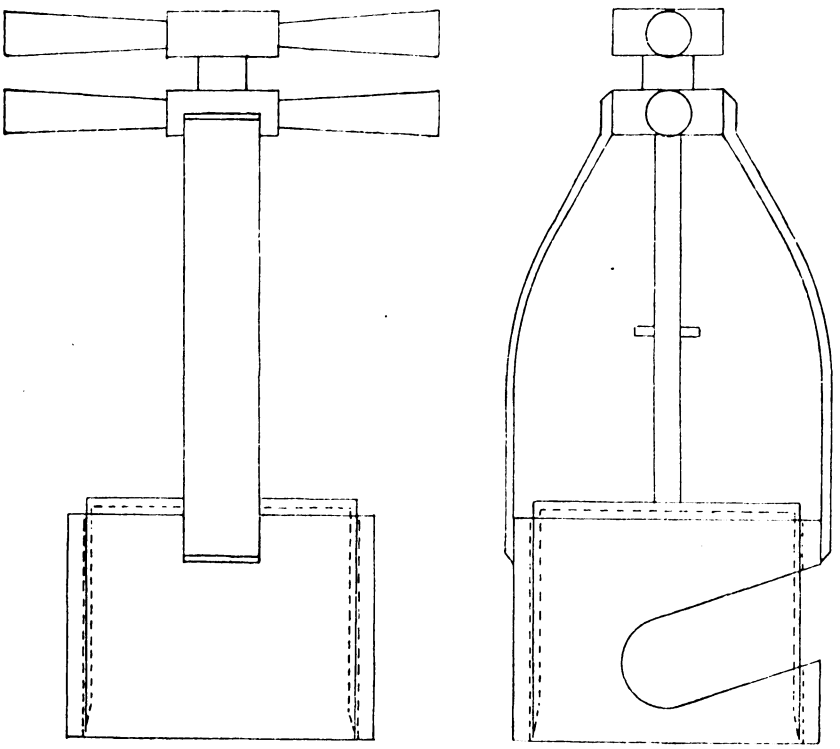


Fig. 9.

An einem ∧-förmigen Bügel ist unten ein hohlcylindrischer Ring befestigt, der in der Richtung des Durchmessers eine kreisförmige Durchbohrung trägt, in welche durch einen Schlitz die Zweige eingeführt werden. Im Ring bewegt sich ein Hohlcylinder, dessen untere Kante geschärft ist. Oben ist derselbe bis auf eine kleine Oeffnung, durch die beim Eintauchen des Apparates in Wasser die Luft entweicht, geschlossen. Der obere Theil des ∧-förmigen Bügels trägt eine cylindrische Bohrung, die von einer Stange durchsetzt wird, welche mit einem Gewinde in die oberen Wand des oben erwähnten Hohlcylinders eingeschraubt ist. Die beiden Querstangen am oberen Ende des Apparates gestatten eine so grosse Kraftentfaltung, dass man nicht, wie bei dem von Schwendener angegebenen Apparat, eine feste

Universitätsbibliothek Regensburg urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0479-8

Unterlage zum Schneiden nöthig hat, was beim Arbeiten in den Kronen hoher Bäume natürlich von Vortheil ist. Sehr leicht liesse sich der Apparat durch eine Hebeleinrichtung ähnlich der der Saug- und Druckpumpen verbessern, zum Abschneiden 4—8 mm starker Zweige reicht aber der eben beschriebene völlig aus. Die beiden Pfropfe wurden entrindet und, wenn nöthig, von Mark befreit gewogen. Ausserdem wurden die Volumina so genau als möglich bestimmt. Kennt man dann noch das Trockengewicht von 1 ccm Frischvolumen, das für beide Pfropfe als gleich angenommen ist, eine Voraussetzung, die der Prüfung bedarf, und das specifische Gewicht der Wandsubstanz, so lässt sich das Volumen der Holzlufträume sowohl bei dem herrschenden Luftdruck als auch bei der zur Zeit des Versuchs bestehenden Spannung berechnen. Die Anwendung des Boyle-Mariotte-schen Gesetzes liefert die mittlere Spannung selbst.

Im Einzelnen geschieht die Bestimmung so: Das Frischgewicht des unter Wasser abgeschnittenen Pfropfes sei g, das Frischvolumen v. Der Pfropf habe völlig ausgetrocknet das Gewicht g_1, das spec. Gewicht der Holzsubstanz sei s = 1,55. Dann ist das Volumen der Lufträume l:

$$l = v - \left[\frac{g_1}{s} + g - g_1\right]$$

In gleicher Weise sei für den in Luft abgeschnittenen Pfropf der Werth l_1 gefunden. Wird der Barometerstand zur Zeit des Versuches b und die zu bestimmende Spannung x genannt, so ist nach dem Boyle-Mariotte'schen Gesetz:

$$\frac{x}{b} = \frac{l}{l_1} \quad \text{also:} \quad x = b \cdot \frac{l}{l_1}.$$

Etwaige Temperaturdifferenzen wurden unberücksichtigt gelassen.

Bevor ich auf die Schilderung der Versuche eingehe, möchte ich hier einige Punkte näher erörtern, die zu Bedenken Anlass geben könnten. Zunächst liegt die Frage nahe: Ist die Wasseraufnahme durch einen unter Wasser abgeschnittenen Pfropf allein eine Folge der Luftverdünnung; nimmt nicht der Pfropf auch durch Capillarität Wasser auf? Die Frage lässt sich experimentell leicht entscheiden.

Zu dem Zwecke wurden einige Pfropfe von verschiedenen Sträuchern und Bäumen (Corylus, Acer, Fraxinus und Betula) geschnitten und von Rinde und Mark befreit, gewogen. Dann wurden sie in Wasser geworfen, $^1/_2$—1 Minute liegen gelassen und, nachdem das anhaftende Wasser mit einem Tuch abgewischt war, wieder gewogen. Das Ergebniss war das folgende:

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0480-9

Pfropf Nr.	Frischgewicht	Gewicht nach dem Eintauchen
1	1,41 g	1,41 g
2	0,92 g	0,93 g
3	1,58 g	1,59 g
4	1,15 g	1,15 g
5	0,61 g	0,62 g

Die Gewichtsdifferenz ist also sehr klein. Sie erreicht in vielen Fällen nicht 0,01 g.

Ferner ist zu prüfen, ob die zum Versuch benutzten Pfropfe vergleichbar sind, d. h. ob die Gewichte der Wandsubstanz und des Wassers für die Frischvolumeneinheit in beiden Fällen dieselben sind.

Die Bestimmung des Gewichtes der Wandsubstanz pro Cubikcentimeter des Frischvolumens ist leicht ausführbar; man braucht nur das Trockengewicht durch das Frischvolumen zu dividiren, um so in jedem einzelnen Fall entscheiden zu können, ob die Uebereinstimmung gross genug ist oder nicht. Die Ermittelung des Wassergehaltes vor dem Versuch ist nur für den Pfropf möglich, der in Luft abgeschnitten wird, während der andere ein unbestimmbares Quantum Wasser aufnimmt. Um aber doch einigermaassen sicher zu gehen, dass der Wassergehalt derselbe sei, wenn die Pfropfe von demselben Ast stammten und möglichst die gleiche Anzahl von Jahresringen hatten, stellte ich mehrfach das specifische Gewicht des Frischholzes fest, wobei sich in den allermeisten Fällen eine sehr gute Uebereinstimmung ergab. Ein Theil der beobachteten Differenzen ist sicherlich auf Rechnung der mangelhaften Genauigkeit der Volummessungen zu setzen. Ich theile hier einige Bestimmungen mit, die z. B. an Corylus gemacht wurden:

	Pfropf I	Pfropf II
I. Volumen	2,2 ccm	2,0 ccm
Gewicht	1,73 g	1,57 g
spec. Gew.	0,79	0,79
	Diff. 0,00.	
II. Volumen	3,1 ccm	2,9 ccm
Gewicht	2,67 g	2,52 g
spec. Gew.	0,86	0,87
	Diff. 0,01.	
III. Volumen	3,5 ccm	3,2 ccm
Gewicht	2,72 g	2,65 g
spec. Gew.	0,78	0,83
	Diff. 0,05.	

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0481-5

Die grösste beobachtete Differenz war 0,05, in den meisten Fällen überstieg sie aber 0,02 nicht. Die kleine Versuchsreihe zeigt zugleich, dass bei Zweigstücken von verschiedenen Stellen die Ungleichheiten recht erhebliche Werthe erreichen können. Eine weitere Fehlerquelle könnte im Filtrationswiderstand der Wände gefunden werden; er würde zur Folge haben, dass etwaige Luftverdünnungen im Libriform oder in Tracheïden nur unvollkommen ausgeglichen würden. Dass dieser Widerstand indessen nicht bedeutend ist, geht sowohl aus Versuchen Schwendener's hervor, als auch aus Experimenten, die ich zu diesem Zweck anstellte. Dickere Schnitte von Coniferenholz wurden in einer evacuirbaren Gaskammer im hängenden Tropfen mit ca. 100facher Vergrösserung betrachtet. Wurde die Luftpumpe in Thätigkeit gesetzt, so dehnten sich die Luftblasen genau den Kolbenhüben folgend aus, selbst dann, wenn sehr langsam gepumpt wurde.

Die Schnittflächen des Pfropfes erwiesen sich bei der Betrachtung mit blossem Auge als ziemlich glatt. An Querschnitten konnte ich mich überzeugen, dass die Gefässe nicht im geringsten gequetscht waren.

Wenn neben diesen Fehlerquellen nicht noch andere in Betracht kommen, kann man wohl annehmen, dass die Fehlergrösse 10 % des Gesammtresultats nicht übersteigt.

Versuche.

Versuch 18. Die Objecte waren zwei Zweige von Salix fragilis, die am oberen Ende eines dicken Stumpfes von 1,5—2,0 m Höhe ausgeschlagen waren. Dicke 8—10 mm. Das Wetter war an den Tagen vor dem Versuch regnerisch, der Boden daher sehr feucht. Temperatur 17,5° C. Barometerstand 76,1 cm. Relative Luftfeuchtigkeit 65 %. 9. Juli 1900.

Für den unter Wasser geschnittenen Pfropf:

Feuchtvolumen	3,50 ccm
$\frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gew. d. Wandsubst.}} = \frac{1{,}30}{1{,}55}$	= 0,84 ccm
Feuchtgewicht — Trockengewicht 3,24 — 1,30	= 1,94 ccm
Wand- + Wasservolumen	2,78 ccm
Volumen der Lufträume	0,72 ccm

Für den in Luft geschnittenen Pfropf:

Feuchtvolumen	3,70 ccm
$\frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gewicht}} = \frac{1{,}34}{1{,}55}$	= 0,86 ccm

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0482-1

Feuchtgewicht — Trockengewicht 3,34 — 1,34 . . . . = 2,00 ccm
Wand- + Wasservolumen . . . . . 2,86 ccm
Volumen der Lufträume . . . . . 0,84 ccm
Luftraum pro Volumeneinheit . . . . . 0,72 : 3,50 = 0,206 ccm
0,84 : 3,70 = 0,227 ccm

Spannung in Atmosphären: $x = \frac{206 \cdot 761}{227 \cdot 760} = 0{,}91$ Atmosph.

Versuch 19. Zwei Zweige eines ca. 4—5 m hohen Haselstrauches (Corylus Avellana), die sich an einem und demselben stark exponirten Ast befanden, wurden zum Versuch verwandt. Dicke der Zweige mit Rinde ca. 7 mm. Rinde und Mark wurden vor dem Versuch entfernt. Im Uebrigen vergl. Versuch 18.

Für den unter Wasser geschnittenen Pfropf:

Feuchtvolumen . . . . . 2,22 ccm
$\frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gewicht}} = \frac{1{,}04}{1{,}55}$ . . . . . = 0,67 ccm
Feuchtgewicht — Trockengewicht = 2,00 — 1,04 . . . = 0,96 ccm
Wand- + Wasservolumen . . . . . 1,63 ccm
Volumen der Lufträume . . . . . 0,59 ccm

Für den in Luft geschnittenen Pfropf:

Feuchtvolumen . . . . . 2,18 ccm
$\frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gewicht}} = \frac{1{,}03}{1{,}55}$ . . . . . = 0,66 ccm
Feuchtgewicht — Trockengewicht 1,72 — 1,03 . . . . = 0,69 ccm
Wand- + Wasservolumen . . . . . 1,35 ccm
Volumen der Lufträume . . . . . 0,83 ccm
Luftraum pro Volumeneinheit . . . . 0,59 : 2,22 = 0,266 ccm
0,83 : 2,18 = 0,381 ccm

Spannung der Luft in Atmosphären: $x = \frac{266 \cdot 761}{381 \cdot 760} = 0{,}70$ Atmosph.

Versuch 20. Die Objecte waren zwei Zweige von Corylus Avellana, die am 12. Juli 1900 Nachmittags $4^1/_2$—$4^3/_4$ Uhr im Universitätsgarten geschnitten wurden. Dicke 6 mm. Die Rinde wurde vor der Wägung entfernt. Barometerstand 758. Temperatur 28° C.

Für den in Wasser geschnittenen Pfropf:

Feuchtvolumen . . . . . 1,79 ccm
$\frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gew.}} = \frac{0{,}83}{1{,}55}$ . . . . . = 0,54 ccm
Feuchtgew.—Trockengew. 1,59—0,83 . . . . . = 0,76 ccm
Wand- und Wasservolumen . . . . . 1,30 ccm
Volumen der Lufträume . . . . . 0,49 ccm

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0483-6

Für den in Luft geschnittenen Pfropf:

Feuchtvolumen . . . . . 1,66 ccm

$\frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gew.}} = \frac{0{,}76}{1{,}55}$ . . . . . = 0,49 ccm

Feuchtgew. — Trockengew. 1,38 — 0,76 . . . . . = 0,62 ccm

Wand- + Wasservolumen . . . . . 1,11 ccm

Volumen der Lufträume . . . . . 0,55 ccm

Hohlraum pro Volumeneinheit: 0,49 : 1,79 = 0,274 ccm

0,55 : 1,66 = 0,331 ccm

Spannung der Luft in Atmosphären: $x = \frac{274 \cdot 758}{331 \cdot 760} = 0{,}82$ Atmosph.

Versuch 21. Zweige von Corylus Avellana, von dem gleichen Ast, wie beim vorigen Versuch, aber unten aus dem Schatten geschnitten. Sonst waren die Versuchsbedingungen dieselben.

Für den unter Wasser geschnittenen Pfropf:

Feuchtvolumen . . . . . 1,87 ccm

$\frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gew.}} = \frac{0{,}86}{1{,}55}$ . . . . . 0,55 ccm

Feuchtgew. — Trockengew. 1,59 — 0,86 . . . . . = 0,73 ccm

Wand- + Wasservolumen . . . . . 1,28 ccm

Volumen der Lufträume . . . . . 0,59 ccm

Für den in Luft geschnittenen Pfropf:

Feuchtvolumen . . . . . 1,34 ccm

$\frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gew.}} = \frac{0{,}61}{1{,}55}$ . . . . . = 0,39 ccm

Feuchtgew. — Trockengew. 1,11 — 0,61 . . . . . = 0,50 ccm

Wand- + Wasservolumen . . . . . 0,89 ccm

Volumen der Lufträume . . . . . 0,45 ccm

Luftraum pro Volumeneinheit: 0,59 : 1,87 = 0,315 ccm

0,45 : 1,34 = 0,336 ccm

Spannung der Luft in Atmosphären: $x = \frac{315 \cdot 758}{336 \cdot 760} = 0{,}93$ Atmosph.

Versuch 22. Zweige von Salix fragilis. Der Baum war den ganzen Tag über der Sonne ausgesetzt gewesen. Im Uebrigen waren die Versuchsbedingungen dieselben wie bei Versuch 20.

Für den unter Wasser geschnittenen Pfropf:

Feuchtvolumen . . . . . 1,94 ccm

$\frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gew.}} = \frac{0{,}71}{1{,}55}$ . . . . . = 0,46 ccm

Feuchtgew. — Trockengew. 1,84 — 0,71 . . . . . = 1,13 ccm

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0484-2

Wand- + Wasservolumen . . . . . 1,59 ccm
Volumen der Lufträume . . . . . 0,35 ccm

Für den in Luft geschnittenen Pfropf:

Feuchtvolumen . . . . . 1,84 ccm
$\frac{\text{Trockengewicht}}{\text{specif. Gewicht}} = \frac{0{,}68}{1{,}55}$ . . . . . = 0,44 ccm
Feuchtgewicht — Trockengewicht = 1,45 — 0,68 . . . = 0,77 ccm
Wand- + Wasservolumen . . . . . 1,21 ccm
Volumen der Lufträume . . . . . 0,63 ccm
Lufträume pro Volumeneinheit . . . . . 0,35 : 1,94 = 0,180 ccm
0,63 : 1,84 = 0,342 ccm

Spannung in Atmosphären: $x = \frac{180 \,.\, 758}{342 \,.\, 760} = 0{,}53$ Atmosph.

Versuch 23. Montag 16. Juli 1900, Nachmittags 5 Uhr 30 Min. bis 6 Uhr, Temp. 35° C., Barometerstand 76,3 cm. Zweige von Acer pseudoplatanus wurden vom Dach eines der Häuser im Universitätsgarten aus geschnitten. Die Temperatur war an den Tagen vor dem Versuch sehr hoch.

Für den unter Wasser geschnittenen Pfropf:

Feuchtvolumen . . . . . 1,86 ccm
Trockengewicht : specif. Gewicht $= \frac{0{,}76}{1{,}55}$ . . . . . = 0,49 ccm
Feuchtgewicht — Trockengewicht = 1,65 — 0,76 . . . = 0,89 ccm
Wand- + Wasservolumen . . . . . 1,38 ccm
Volumen der Lufträume . . . . . 0,48 ccm

Für den in Luft geschnittenen Pfropf:

Feuchtvolumen . . . . . 1,63 ccm
Trockengewicht : specif. Gewicht $= \frac{0{,}67}{1{,}55}$ . . . . . = 0,43 ccm
Feuchtgewicht — Trockengewicht 1,32 — 0,67 . . . . = 0,65 ccm
Wand- + Wasservolumen . . . . . 1,08 ccm
Volumen der Lufträume . . . . . 0,55 ccm
Lufträume pro Volumeneinheit . . . . . 0,48 : 1,86 = 0,258 ccm
0,55 : 1,63 = 0,338 ccm

Spannung der Luft in Atmosphären: $x = \frac{258 \,.\, 763}{338 \,.\, 760} = 0{,}76$ Atmosph.

Versuch 24. Zweige von Acer pseudoplatanus. Die Bedingungen waren dieselben wie beim Versuch 23.

Für den unter Wasser geschnittenen Pfropf:

Feuchtvolumen . . . . . 2,44 ccm

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0485-8

Trockengewicht: specif. Gewicht $= \frac{1{,}03}{1{,}55}$ . . . . . $= 0{,}66$ ccm

Feuchtgewicht — Trockengewicht $= 2{,}22 - 1{,}03$ . . . $= 1{,}19$ ccm

Wand- + Wasservolumen . . . . . 1,85 ccm

Volumen der Lufträume . . . . . 0,59 ccm

Für den in Luft geschnittenen Pfropf:

Feuchtvolumen . . . . . 2,05 ccm

Trockengewicht: specif. Gewicht $= \frac{0{,}87}{1{,}55}$ . . . . . $= 0{,}56$ ccm

Feuchtgewicht — Trockengewicht $= 1{,}65 - 0{,}87$ . . . $= 0{,}78$ ccm

Wand- + Wasservolumen . . . . . 1,34 ccm

Volumen der Lufträume . . . . . 0,71 ccm

Lufträume pro Volumeneinheit . . . . . $0{,}59 : 2{,}44 = 0{,}242$ ccm

$0{,}71 : 2{,}05 = 0{,}346$ ccm

Spannung der Luft in Atmosphären: $x = \frac{242 \cdot 763}{346 \cdot 760} = 0{,}70$ Atmosph.

Versuch 25. 19. Juli 1900. Nachmittags 5^{30} Uhr bis 5^{45}. Temperatur 32° C., Barometerstand 76,2 cm. Zweige von Acer pseudoplatanus aus dem Universitätsgarten von ziemlich ungleicher Dicke, aber von demselben Ast.

Für den unter Wasser geschnittenen Pfropf:

Feuchtvolumen . . . . . 3,03 ccm

Trockengewicht: specif. Gewicht $= \frac{1{,}29}{1{,}55}$ . . . . . $= 0{,}83$ ccm

Feuchtgewicht — Trockengewicht $= 2{,}55 - 1{,}29$ . . . $= 1{,}26$ ccm

Wand- + Wasservolumen . . . . . 2,09 ccm

Volumen der Lufträume . . . . . 0,94 ccm

Für den in Luft geschnittenen Pfropf:

Feuchtvolumen . . . . . 1,26 ccm

Trockengewicht: specif. Gewicht $= \frac{0{,}54}{1{,}55}$ . . . . . $= 0{,}35$ ccm

Feuchtgewicht — Trockengewicht $= 1{,}03 - 0{,}54$ . . . $= 0{,}49$ ccm

Wand- + Wasservolumen . . . . . 0,84 ccm

Volumen der Lufträume . . . . . 0,42 ccm

Luftraum pro Volumeneinheit . . . . . $0{,}94 : 3{,}03 = 0{,}310$ ccm

$0{,}42 : 1{,}26 = 0{,}334$ ccm

Spannung der Binnenluft in Atmosphären: $x = \frac{310 \cdot 762}{334 \cdot 760} = 0{,}93$ Atm.

Zum Schluss möge es gestattet sein, noch einmal die wesentlichen Resultate der vorliegenden Arbeit zusammenzufassen. Es wurde

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0486-4

der Nachweis erbracht, dass die Holzmembranen sich in Bezug auf ihre Durchlässigkeit für Luft ebenso verhalten wie alle übrigen Membranen. Sie werden mit zunehmendem Feuchtigkeitsgehalt für Gase durchlässiger.[1]) Diese Eigenschaft in Verbindung mit der von N. J. C. Müller entdeckten, dass die Gase eine Wand um so schneller passiren, je leichter sie von Wasser absorbirbar sind, legt eine Vermuthung über die Art des Durchtritts nahe. Auf der Seite des grösseren Druckes nimmt das Wasser der Zellwand durch Absorption aus der Luft Moleküle auf, vertheilt sie gleichmässig in der Wand und gibt sie — wenigstens theilweise — auf der Seite des geringeren Druckes wieder ab. Die gegentheilige Behauptung, die Durchlässigkeit nehme beim Austrocknen zu, erklärt sich dadurch, dass die Experimentatoren die in trocknem Holz auftretende Rissbildung übersahen. Die Frage nach der Schnelligkeit des Durchtritts der Luft durch imbibirte Membranen konnte nur unvollkommen beantwortet werden, da die auch von Böhm beobachtete Eigenschaft frischen Holzes, Luft in beträchtlicher Menge zu absorbiren, quantitatives Arbeiten unmöglich machte. Soviel scheint indessen festzustehen, dass im Verlauf eines Tages (24 Stunden) schon ein beträchtlicher Theil der Druckdifferenz ausgeglichen wird. Die Messungen der Spannung der Binnenluft ergaben Werthe, die je nach den Umständen zwischen 0,5—0,9 Atmosphären schwankten. Dabei ist aber zu bemerken, dass diese Werthe jedenfalls nicht Minimalwerthe sind, da es mir nicht möglich war, Zweige aus den Spitzen hoher Bäume zu meinen Versuchen zu erhalten.

Berlin, botan. Institut, September 1900.

---

1) Es bestätigt sich also die von Pfeffer geäusserte Vermuthung. (Pflanzenphys. II. Aufl. I. Bd.)

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05171-0487-9

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung

Jahr/Year: 1901

Band/Volume: 88

Autor(en)/Author(s): Claussen P.

Artikel/Article: Ueber die Durchlässigkeit der Tracheidenwände für atmosphärische Luft. 422-469